



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE QUÍMICA

**ANÁLISIS DE LOS INVENTARIOS DE
EMISIONES DE CO₂ PARA LA ZONA
METROPOLITANA DE LA CIUDAD DE
MÉXICO**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

I N G E N I E R A Q U Í M I C A

PRESENTA:

**MOSQUEDA RODRÍGUEZ ELIZABETH
VIRGINIA**



México, D.F

2008



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

JURADO ASIGNADO

PRESIDENTE	Profesor: Jesús Torres Merino
VOCAL	Profesor: Francisco Javier Garfias Vásquez
SECRETARIO	Profesor: Rina Guadalupe Aguirre Saldivar
1er SUPLENTE	Profesor: María de los Ángeles Vargas Hernández
2° SUPLENTE	Profesor: Néstor Noé López Castillo

SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA:

Edificio de Posgrado de Ingeniería “Bernardo Quintana Arrijoja”, UNAM.

ASESOR DEL TEMA
Dra. Rina Guadalupe Aguirre Saldivar

SUSTENTANTE
Elizabeth Virginia Mosqueda Rodríguez

A mis padres, Ramón y Virginia, por su gran apoyo y cariño a lo largo de toda mi vida. Sin ustedes no hubiera llegado hasta aquí. Los amo.

A mi hermana Jacqueline por demostrarme lo alto que alguien puede llegar cuando uno da lo mejor de sí mismo.

A mi abuelita Ana, por criarme durante mi niñez.

A Francia Sofía, temible luz de vida.

A Gaby, por guiarme en el conocimiento de mi ser.

A la Dra. Rina por ser la mejor pedagoga que he conocido. No pude caer en mejores manos. Una persona admirable en todos los sentidos.

A Sergio, por su incondicional amistad, por ser mi maestro en esas largas noches de estudio.

A Jacobo, Santiago y Lalo, grandes compañeros de equipo a quienes nunca olvidaré.

A Juanito (Carlos), por no dejarme de sorprender con tu nobleza y entrega a tus seres queridos.

A Francisco, porque también fuiste de las mejores experiencias y aprendizajes de la Facultad.

A Mariana, Mónica, Mike, y Clau por siempre estar cuando los necesito.

A Miguel, no existen palabras para describir lo que provocas en mí.

A la Esgrima: "L'escrime le plus!".

Al Laboratorio de Mejoramiento Ambiental por brindarme el espacio para la realización de éste trabajo y a los grandes seres humanos que ahí conocí. Carlitos, Iván, Gus, Jose Juan, David, Oscar, Dalai, Chucho, Soco, Lucy, y Oliver gracias por todas las risas y momentos inolvidables.

A todos los maestros, amigos y conocidos de la Facultad de Química quienes me enseñaron el gran valor de haber estudiado en la única Universidad Nacional.

A mi hermosa Ciudad Universitaria y al espíritu universitario.

ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN	1
1.1	Antecedentes	1
1.2	Objetivo	3
1.3	Alcances y limitaciones	4
2.	GENERALIDADES	8
2.1	Contaminación del aire	8
2.2.	Efecto invernadero	9
	2.2.1 Calentamiento global	13
	2.2.2 Fuentes y sumideros de CO ₂	15
2.3.	Manejo de información	18
	2.3.1 Herramientas para el manejo de información	20
	2.3.2 Inventario de emisiones	22
	2.3.3 Modelos matemáticos	23
	2.3.4 Factores de emisión	29
3.	SITUACIÓN ACTUAL	32
3.1	Reconocimiento mundial del problema	32
	3.1.1. Convenio Marco de las Naciones Unidas	32
	3.1.2 Panel Intergubernamental del Cambio Climático	34
	3.1.3 Protocolo de Kyoto	36
3.2	Emisiones mundiales de GEI	37
3.3	Zona Metropolitana de la Ciudad de México	40
	3.3.1 Características generales de la ZMCM	40
	3.3.2 Emisiones en la ZMCM	42
4.	EMISIONES DE CO₂ EN LA ZMCM	47
4.1	Inventarios de emisiones	47
	4.1.1 Estrategia Local de Cambio Climático	48
	4.1.2 Actualización y desarrollo metodológico del balance de energía	54
	4.1.3 Inventario de emisiones de GEI asociados a la producción y uso de la energía en la ZMCM	61
	4.1.4 PROAIRE 2002-2010	66
	4.1.4.1 Inventario 1998	68
	4.1.5 Inventario 2000, 2002 y 2004	71
4.2	Estudios Relacionados	74
	4.2.1 Sistema Integrado de Regulación Directa y Gestión Ambiental de la Industria	75
	4.2.1.1 Cédula de Operación Anual (COA)	76
	4.2.1.2 Registro de Emisión y Transferencia de Contaminantes (RETC)	78
	4.2.2 Campaña Milagro	79
	4.2.3 Programa Voluntario de contabilidad e informe de gases de efecto invernadero (Programa GEI México)	81
	4.2.4 Sistema Nacional de Emisiones	82

4.3	Factores de Emisión	84
4.3.1	Panel Intergubernamental de Cambio Climático	85
4.3.2	Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos	88
4.3.3	Asociación de Técnicos y Profesionistas en Aplicación Energética.	90
5.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	93
5.1	Análisis de inventarios	94
5.1.1	Estrategia Local de Cambio Climático	100
5.1.2	Actualización y desarrollo metodológico del balance de energía	101
5.1.3	Inventario de emisiones de GEI asociados a la producción y uso de la energía en la ZMCM	102
5.1.4	PROAIRE 2002-2010	103
5.1.5	Inventario 2000, 2002 y 2004	104
5.1.6	Sistema Integrado de Regulación Directa y Gestión Ambiental de la Industria	105
5.1.7	Campaña Milagro	105
5.1.8	Programa Voluntario de contabilidad e informe de gases de efecto invernadero (Programa GEI México)	106
5.1.9	Proyecto Inventario Nacional de Emisiones	106
6.	CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES	107
6.1	Fuentes de información recomendadas	107
6.2	Formato de inventario recomendado	110
6.3	Desarrollo de inventarios	111
6.4	Recomendaciones	112
ANEXOS		
A.	Estrategia Local de Cambio Climático	113
B.	Actualización y Desarrollo Metodológico del Balance de Energía de la ZMCM.	119
C.	Inventario del GEAll	120
D.	Registro de emisión y transferencia de contaminantes	121
E.	Medidas implementadas en PROAIRE 2002-2010	126
F.	Programa voluntario de contabilidad e informe de gases de efecto invernadero.	129
MESOGRAFÍA		131

Glosario de términos

ATPAE	Asociación de Técnicos y Profesionistas en Aplicación Energética
CESPEDES	Centro de Estudios del Sector Privado para el Desarrollo Sustentable
CFE	Comisión Federal de Electricidad
CMNUCC	Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático
CONCAMIN	Confederación de Cámaras Industriales de los Estados Unidos Mexicanos.
CORENADER	Comisión de Recursos Naturales y Desarrollo Rural
D.F.	Distrito Federal
ELAC	Estrategia Local de Acción Climática
FE	Factor de Emisión
GDF	Gobierno del Distrito Federal
GEI	Gases de Efecto Invernadero
GLP	Gas licuado de petróleo
GWP	Global Warming Potencial, por sus siglas en inglés
IMP	Instituto Mexicano del Petróleo
INE	Instituto Nacional de Ecología
INEGEI	Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero
INEM	Inventario Nacional de Emisiones
INTEX-B	Proyecto Intercontinental Chemical Transport Experiment (Phase B)
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change, por sus siglas en inglés
LyFC	Luz y Fuerza del Centro
MAX-Mex	Proyecto Megacity Aerosol Experiment-Mexico City
MDL	Mecanismo para un Desarrollo Limpio
MILAGRO	Megacity Initiative: Local and Global Research Observations
MIRAGE-Mex	Proyecto Megacities Impacts on Regional and Global Environment
OCDE	Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico
GWP	Potencial de calentamiento global (por sus siglas en inglés: Global Warming Potential))
PPB	Producción Primaria Bruta
PPN	Producción Primaria Neta
PNB	Producción Neta del Bioma
PNE	Producción Neta del Ecosistema
PROAIRE	Programa para Mejorar la Calidad del Aire en la Zona Metropolitana del Valle de México 2002-2010
R _a	Respiración de los tejidos vegetales
RETC	Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes
R _h	Respiración heterótrofa
SEMARNAT	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
SENER	Secretaría de Energía
SMA	Secretaría de Medio Ambiente del Distrito Federal
EPA	Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos
USCUSS	Uso de Suelo, Cambio de Uso de Suelo y Silvicultura
WRI	Instituto de Recursos Mundiales (por sus siglas en ingles: World Ressources Institute)
ZMCM	Zona Metropolitana de la Ciudad de México

SAGARPA Secretaría de agricultura, desarrollo rural, pesca y alimentación.

Unidades

Gg Giga gramos
Mton mega toneladas
MW megawatt
MWH megawatt hora
PgC Petagramos de carbono
PJ Petajoule
ppmv partes por millón en volumen
ton de CO₂ tonelada de bióxido de carbono

Fórmulas y abreviaturas químicas

CO₂ eq Bióxido de carbono equivalente
CH₄ Metano
CO₂ Bióxido de carbono
N₂O Óxido nitroso

Índice de figuras y tablas

Figuras

- 1.1 Concentraciones de CO₂ y CH₄, y variación en la temperatura.

- 2.1 Perfil vertical de temperatura y concentración de H₂O y CO₂.
- 2.2 Mecanismo simplificado del Efecto Invernadero.
- 2.3 Variación de temperatura y contenido de CO₂ y CH₄ en la atmósfera a lo largo de 420,000 años.
- 2.4 Ciclo global del carbono. Esquema modificado de Schlesinger 1997 y actualizado con información de IPCC 2001.
- 2.5 Esquema del ciclo de información.
- 2.6 Clasificación teórica de los modelos de calidad del aire.
- 2.7 Categorías de factores de emisión del AP-42.

- 3.1 Concentración atmosférica de CO₂ registrada por el observatorio Mauna Loa, Hawai.
- 3.2 Diagrama de emisiones mundiales de GEI.
- 3.3 Contribución de diferentes países en las emisiones de GEI.
- 3.4. Zona Metropolitana de la Ciudad de México.
- 3.5 Municipios que Constituyen la ZMCM.
- 3.6 Mayores temperaturas máximas alcanzadas en el Distrito Federal entre marzo, abril y mayo de 1993 y 2002.
- 3.7 Temperaturas promedio y mínimas en la estación meteorológica de Tacubaya.
- 3.8. Precipitación anual acumulada (Observatorio de Tacubaya, DF).
- 3.9 Superficie afectada y número de incendios en la ZMCM.
- 3.10 Contribución de emisiones de GEI en México.

- 4.1 Balance de energía de la ZMCM, 2001.
- 4.2 Emisiones de CO₂ en la ZMCM 2000, 2001 y 2003.
- 4.3 Sistema de Monitoreo Atmosférico de la Ciudad de México (2006).
- 4.4 Consumo energético y emisiones de CO₂ para 2002 y 2004.
- 4.5 Sistema integral de regulación directa y gestión ambiental de la industria.
- 4.6 Momentos de reporte de la COA.
- 4.7 Emisiones de CO₂ equivalentes por sector para México.
- 4.8 Emisiones nacionales de GEI, 2002.

- 5.1 Estudios analizados y su interrelación

Tablas

- 2.1 Clasificación general de los contaminantes atmosféricos.
- 2.2 GWP y contribución relativa de los GEI.
- 2.3 Balance global del carbono en PgC/año (1980 y 1990).

- 3.1 Países incluidos en el Anexo I y II del Convenio.

- 4.1 Emisiones de GEI en la ZMCM, 2000.

-
-
- 4.2 Emisiones de CO₂ en la ZMCM, 2000.
 - 4.3 Ecuaciones para el cálculo de la actividad energética.
 - 4.4 Emisiones de CO₂ en la ZMCM.
 - 4.5 Emisiones directas e indirectas de CO₂ para la ZMCM (Mton/año).
 - 4.6 Actividad energética por sector para la ZMCM, 2001.
 - 4.7 Emisiones de CO₂ de la ZMCM durante 1996.
 - 4.8 Emisiones de CO₂ de la industria, 1996.
 - 4.9 Consumo de energía del sector industrial en la ZMCM, 1996.
 - 4.10 Emisiones de CO₂ del sector residencial considerando cocción y calentamiento, 1996.
 - 4.11 Emisiones de CO₂ del autotransporte, 1996.
 - 4.12 Descripción del Sistema de Monitoreo Atmosférico de la ZMVM.
 - 4.13 Emisiones de CO₂ en la ZMCM, 1998.
 - 4.14 Consumo energético por sector y tipo de combustible.
 - 4.15 Energía consumida y emisiones de CO₂, 2000, 2002 y 2004.
 - 4.16 Emisiones de CO₂ para los rellenos sanitarios de la ZMCM.
 - 4.17 Emisiones industriales de GEI en la ZMCM registradas en el RETC, 2004.
 - 4.18 Industrias del programa GEI México que reportan CO₂ en RETC.
 - 4.19 Emisiones nacionales de CO₂ por año.
 - 4.20 Emisiones nacionales de CO₂ por subsectores.
 - 4.21 Factores de emisión IPCC empleados (kg CO₂/TJ)..
 - 4.22 Factores de emisión utilizados por el Inventario 1998, EPA
 - 4.23 Factores de emisión híbridos 1995-2001, ATPAE
-
- 5.1 Emisiones totales de CO₂ de los inventarios estudiados.
 - 5.2 Fuentes de información de los inventarios.
 - 5.3 Factores de emisión utilizados por los inventarios.
 - 5.4 Tipos de combustibles considerados por los inventarios.
 - 5.5 Sectores de emisión considerados por los inventarios.
 - 5.6 Subsectores industriales considerados por el sector industrial en los inventarios estudiados.

1. INTRODUCCIÓN

Los seres humanos somos una de las especies de más reciente aparición en el planeta, sin embargo, en un lapso relativamente breve, lo hemos transformado enormemente. Hemos creado la ciencia, la filosofía y la política, y modificado nuestro entorno inmediato, al tiempo que la hidrosfera, la biosfera y la estratosfera han sido también impactadas; esto último especialmente por el incremento acelerado de la temperatura de la atmósfera.

Y, mientras hay quienes especulan sobre si el cambio climático que sufre el planeta es o no causado por actividades antropogénicas que emiten gases de efecto invernadero, GEI, como dióxido de carbono, metano y óxido nitroso, resulta casi imposible explicar el calentamiento reciente del planeta a menos que se considere el efecto de las actividades humanas.

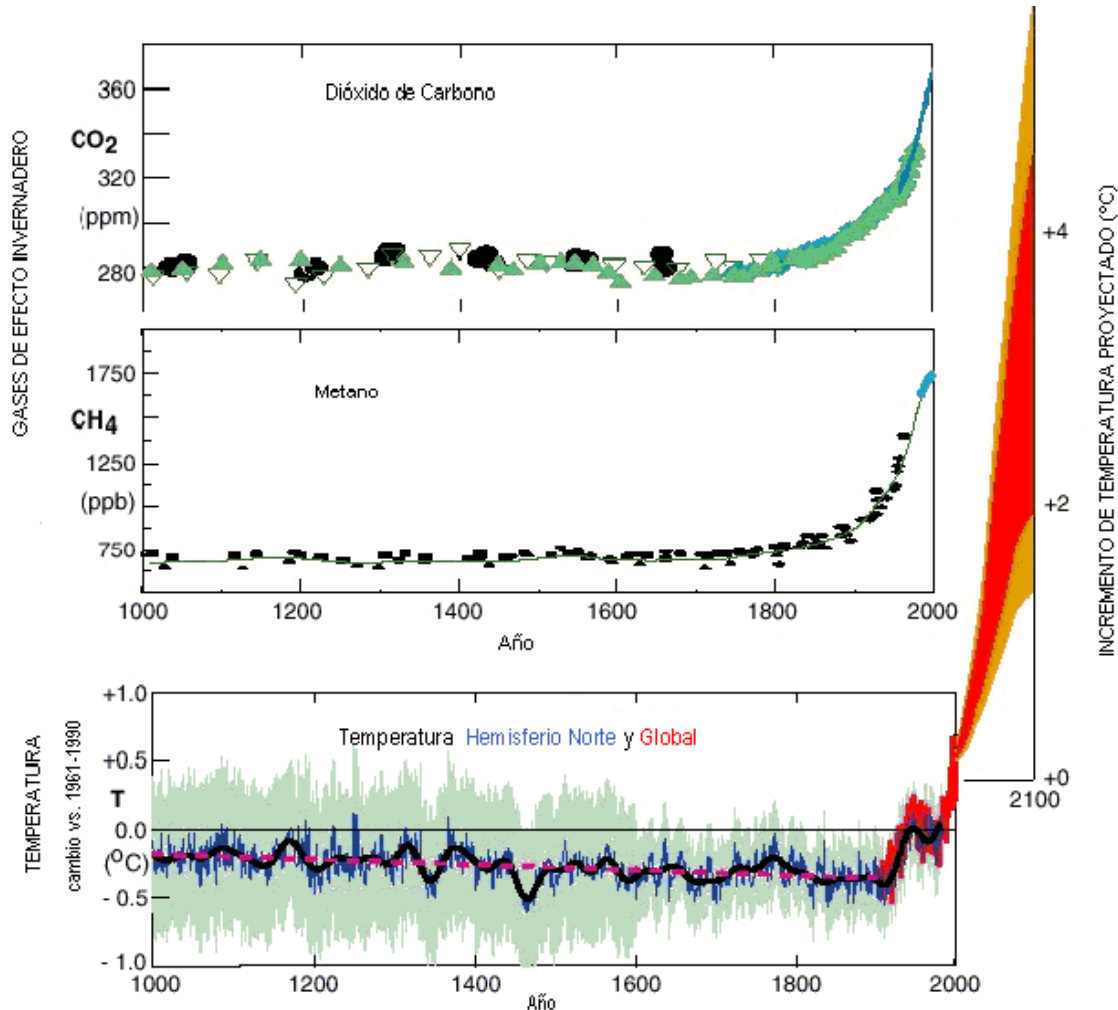
Si se tratara de reconstruir la temperatura promedio global de los últimos 150 años, únicamente tomando en cuenta factores naturales como variaciones en la actividad solar o volcánica, o cambios en los parámetros astronómicos de la órbita terrestre, no se obtendría la señal de calentamiento que las observaciones muestran (ver figura 1.1). Es sólo cuando se cambia la concentración de gases de efecto invernadero en el balance radiativo del planeta cuando se logra reproducir el calentamiento de alrededor de 0.7°C observado en los últimos 100 años (Magaña, 2007).

1.1 Antecedentes

Ante el reconocimiento mundial de la problemática del calentamiento global se hace indispensable disponer de información sobre las variables que participan en este fenómeno, no sólo para tratar de establecer la relación entre ellas, en lo que ya se ocupan los grandes centros de investigación mundial, sino para ser capaces

de tomar decisiones efectivas localmente para tratar de corregir el problema más grande que ha enfrentado la humanidad.

Figura 1.1 Concentraciones de CO₂ y CH₄, y variación en la temperatura



Fuente: en Quadri (2007), tomada de IPCC/WG1: Climate Change 2001, SPM & chapters 2, 3, 4, 5 y 9

Algunos de los estudios que se consideran relevantes para abordar el tema de cambio climático son:

- En el 2001, apareció en el Panel Intergubernamental de Cambio Climático: "Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change".

-
- Informe especial: “Climate protection strategies for the 21st century: Kyoto and beyond” para el Consejo Asesor Alemán sobre Cambio Global 2003 (Grassl et al, 2003).
 - En el 2004, apareció en el compendio de la OCDE: “The benefits of climate change policies”, el estudio de Hitz y Smith, intitulado “Estimating Global Impacts from climate Change”.
 - Investigación para el Informe Stern: “Understanding the regional impacts of climate change” elaborado por Warren y colaboradores (2006).
 - El libro “Avoiding dangerous climate change” compilado por Schellnhuber en 2006, constituye una de las evaluaciones más actualizadas sobre todo el espectro de efectos del cambio climático y, principalmente, del riesgo de variaciones abruptas y a gran escala. En él se encuentran trabajos como:
 - Schneider y Lane: “An overview of «dangerous» climate change”.
 - Hare: “Relationship between increases in global mean temperature and impacts on ecosystems, food production, water and socio-economic systems”.
 - Arnell: “Climate change and global water resources: SRES emissions and socio-economic scenarios”.
 - Nicholls y Lowe: “Climate stabilization and impacts of sea-level rise”
 - Turley y otros: “Reviewing the impact of increased atmospheric CO₂ on oceanic pH and the marine ecosystem”.
 - Warren: “Impacts of global climate change at different annual mean global temperature increases”.

Finalmente, debemos mencionar dentro de El Informe Stern: “La verdad sobre el cambio climático” (Stern, 2007).

1.2 Objetivo

Ante las dimensiones del problema que nos ocupa, nos hemos preguntado si nuestro país posee la información suficiente, en cantidad y calidad, como para que

las decisiones que se deban de tomar tengan el sustento adecuado. De tal forma que el objetivo de este trabajo es:

Recopilar la información disponible de emisión de dióxido de carbono para la Zona Metropolitana de la Ciudad de México y analizarla detenidamente para establecer si resulta adecuada para el estudio de la contribución de esta zona en el cambio climático y la toma de decisiones.

El análisis de esta información incluye el conocimiento de los métodos de estimación o medición empleados, así como los supuestos incluidos para la estimación de los combustibles y equipos de combustión responsables de las emisiones que nos ocupan.

1.3 Alcances y limitaciones

Como ya se mencionó anteriormente, el problema del cambio climático es muy extenso y complejo, por lo que para realizar esta tesis fue indispensable iniciar con una seria acotación de sus alcances y limitaciones.

Se inició con una “tormenta de ideas” sobre temas particulares dentro de esta problemática para seleccionar aquel o aquellos que fuesen de interés académico, llegándose a la conclusión que cualquier estudio depende de la información a partir de la cual se realice y por lo tanto la calidad y disponibilidad de la información se convirtió en el tema fundamental de este trabajo.

La información relacionada con las emisiones de gases invernadero será revisada dentro de las siguientes consideraciones:

- Sólo se presentará el análisis de emisiones de bióxido de carbono, como gas invernadero de referencia. Debido a que se encontraron discrepancias importantes entre diferentes inventarios, se consideró suficiente analizar sólo

este gas y no pretender ahondar en las estimaciones de metano y menos aún en las de óxido nitroso para las cuales existe aún una gran incertidumbre.

- Se recopilarán y analizarán las estimaciones para la ciudad de México (Zona Metropolitana de la Ciudad de México, ZMCM), ya que por ser esta una de las ciudades más grandes del mundo y la capital de nuestro país en ella se han concentrado la mayoría de las investigaciones y es de esperarse que en cuanto se desarrolle un método adecuado para las estimaciones de GEI en la ZMCM este será aplicado al resto del país.
- Dentro de los inventarios de emisiones analizados se contó con información no fácilmente disponible para el público en general, como el Balance de Energía de la ZMVM (Bazán, 2003). Esto, se debió a la ventaja de tener contacto con los profesores universitarios que intervinieron en dichos estudios y facilitaron la información requerida para la oportuna comprensión de los métodos de estimación empleados.
- En otros casos, no se cuenta con la información completa por tratarse de la recopilación de datos que reporta la iniciativa privada, como en el caso del Registro de Emisión y Transferencia de Contaminantes, elaborado por la SEMARNAT con datos parciales de la industria de jurisdicción federal. En este caso el análisis se realizó sólo con la información proporcionada al público.
- La mayoría de los inventarios existentes se basan en los contaminantes locales criterio, esto es: dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno, partículas, monóxido de carbono y ozono. Estos contaminantes son medidos directamente y por tanto sus valores son confiables, mientras que los gases de efecto invernadero son de reciente inclusión en estos inventarios y los valores que reportan son obtenidos a partir de estimaciones indirectas de la actividad de las fuentes de emisión.

- A pesar de que algunos estudios fueron realizados en años recientes los *links* originales a los documentos en internet ya no existen y para recuperar la información fue necesaria una intensa búsqueda tanto en los medios magnéticos como en las bibliotecas de centros de investigación.

Para cumplir el objetivo planteado, el capítulo 2 inicia con una breve revisión sobre la contaminación atmosférica, a fin de distinguir entre los contaminantes locales y los globales, sus principales fuentes y sumideros. En ese mismo capítulo se establecen las bases científicas del fenómeno de calentamiento global, concluyéndolo con las características fundamentales de la información y su manejo, a fin de comprender la diferencia entre datos e información y la importancia de la calidad de esta última. Esta sección se consideró indispensable, ya que en ella se establece el valor de la información para la toma de decisiones.

En el capítulo 3 se presenta una breve revisión sobre el reconocimiento del problema a nivel mundial y algunas de las acciones ejercidas como: el Convenio Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático, el Panel Intergubernamental del Cambio Climático y el Protocolo de Kyoto. En ese mismo capítulo, pasando de lo general a lo particular, se revisará brevemente la problemática de la ciudad de México.

En el capítulo 4 se analizan los inventarios de CO₂ para la ZMCM. En este capítulo se desagrega la información lo más posible para comprender los métodos empleados para estimar las emisiones reportadas, los factores de emisión utilizados, su significado, confiabilidad y los valores de actividad utilizados.

En el capítulo 5 se realiza el análisis resumido de la información presentada en el capítulo 4, con el fin de concluir cual de las aproximaciones empleadas en los estudios e inventarios de emisiones disponibles para la ZMCM resulta más conveniente para la toma de decisiones. En este capítulo se presenta también un pequeño análisis de escenarios, basados en algunas de las medidas de control propuestas en los diferentes foros nacionales e internacionales sobre Cambio Climático.

Finalmente, en el capítulo 6 se presentan las principales conclusiones y recomendaciones a partir de la experiencia obtenida durante la realización de esta tesis.

2. GENERALIDADES

En este capítulo se plantean brevemente los principios teóricos de contaminación del aire, las emisiones de dióxido de carbono y el calentamiento global; indispensables para abordar el análisis de la información del capítulo cuatro.

2.1 Contaminación del aire

La Norma Mexicana, NMX-AA-023-1986, de la Protección al Ambiente-Contaminación Atmosférica-Terminología, define *contaminación* como la presencia en el ambiente de uno o más contaminantes, o cualquier combinación ellos, que perjudique o resulte nocivo a la vida, la flora o la fauna o que degrade la calidad de la atmósfera, del agua, del suelo o de los bienes y recursos naturales en general; mientras que la Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales define la contaminación atmosférica como la presencia en el aire de toda materia o energía en cualesquiera de sus estados físicos y formas, que al incorporarse o actuar en la atmósfera, altere o modifique su composición y condición natural (INE, 2000).

Los contaminantes atmosféricos se clasifican para su estudio de acuerdo con diferentes puntos de vista:

- Por su composición química.
- Por su origen: natural o antropogénico.
- Por la fuente: primarios o secundarios
- Por el área de efecto: local o global.

Por su composición química se agrupan en: compuestos inorgánicos de carbono; derivados del azufre; de nitrógeno; hidrocarburos; oxidantes fotoquímicos; metales pesados y partículas.

2.2 Efecto Invernadero

Considerando la distancia entre el Sol y la Tierra, la energía emitida por el primero y el albedo de la segunda (capacidad de reflexión), nuestro planeta tendría una temperatura efectiva de -18°C ; sin embargo el promedio global anual es de $+15^{\circ}\text{C}$. Esta gran diferencia entre la temperatura efectiva y la real se debe al llamado efecto invernadero (EI).

Los contaminantes primarios son los que proceden directamente de una fuente de emisión, como el dióxido de azufre y el de carbono; mientras que los secundarios se originan por la interacción química de contaminantes primarios y componentes normales de la atmósfera, como el ozono y los peroxiacetilnitratos (PAN).

Por su origen se les divide en naturales, como los emitidos por erupciones volcánicas, incendios forestales accidentales, pantanos y la erosión del suelo; y antropogénicos (emitidos por las actividades humanas). Prácticamente el 80% de los contaminantes que se vierten a la atmósfera provienen de la combustión realizada por el hombre.

Estas clasificaciones resultaron insuficientes a medida que se descubrieron otros efectos de los gases contaminantes, como la formación de lluvia ácida y más recientemente el calentamiento global. A partir de ese momento se clasificaron también en locales, regionales y globales. Los locales impactan la salud de los habitantes o sus bienes directamente en el sitio en el que se emiten, mientras que los otros lo hacen en forma indirecta. Los contaminantes globales son transportados lejos de su fuente de emisión, donde reaccionan con otros compuestos también contaminantes, como el SO_2 que forma lluvia ácida o bien, como en el caso del CO_2 , produce cambios en el globo terráqueo que afectan la forma de vida del ser humano.

La clasificación general de los contaminantes atmosféricos: fuente, y efecto se presentan en la tabla 2.1 siguiente:

Tabla 2.1 Clasificación general de los contaminantes

NOMBRE	FÓRMULA	EFECTO	ÁREA DE EFECTO	FUENTE	ORIGEN	
					NATURAL	ANTROPOGÉNICO
Monóxido de carbono	CO	Somnolencia Dolor de cabeza Desmayo Muerte	Local	Primario	Incendios forestales	Combustión incompleta
Bióxido de carbono	CO ₂	No afecta la salud. Calentamiento global	Global	Primario	Respiración Descomposición aerobia	Combustión completa
Dióxido de azufre	SO ₂	Irritación Sist. respiratorio Lluvia ácida	Local	Primario	Volcanes Pantanos	Combustibles con S. Refinerías Vulcanizadoras Siderúrgicas
Óxidos de nitrógeno	NO _x	Irritación Sist. respiratorio Oxidación Lluvia ácida Precursor de ozono	Local	Primario	Descomposición bacterial (nitrosomas)	Combustión a altas temperaturas Combustión de impurezas de N.
Hidrocarburos no quemados (Compuestos orgánicos volátiles)	HC o COV	Variable según composición CH ₄ –GEI	Local Metano: global	Primario	Descomposición anaerobia Volcanes Digestión entérica Pantanos	Combustión incompleta Solventes Rellenos sanitarios (biogas) Ganado vacuno
Ozono	O ₃	Oxidación	Local	Secundario	Reacciones fotoquímicas	No existen
Clorofluorocarbonos	CFC	No afecta la salud Destrucción capa de ozono	Global	Primario	No existen	Refrigerantes Gas propulsor
Partículas suspendidas	PST PM10 PM2.5	Afecta al sistema respiratorio Visibilidad Economía Taponamiento	Local	Primario	Erosión Brisa marina Incendios forestales Volcanes	Incendios forestales provocados Demolición Combustión incompleta Metal-mecánica

La atmósfera deja pasar los rayos solares (luz visible principalmente), los cuales son absorbidos por la superficie terrestre que se calienta y emite radiación (ondas infrarrojas). Esta radiación es detenida por los gases que componen la atmósfera y las nubes. En consecuencia, la atmósfera superficial es cálida y se va enfriando conforme uno asciende a través de ella.

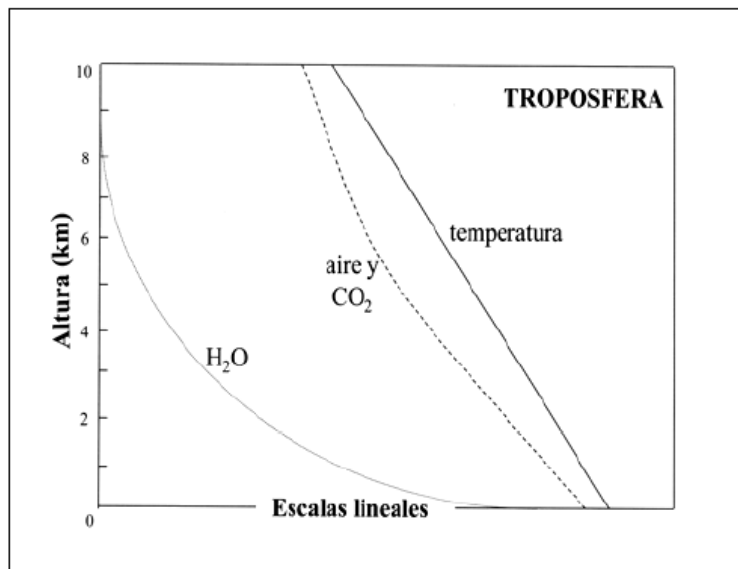
Los componentes principales de la atmósfera son el oxígeno (O₂, 21%), el nitrógeno (N₂, 78%) y otros gases y aerosoles (partículas sólidas y líquidas) en

concentraciones mucho menores. Los principales gases de efecto invernadero (GEI) son el vapor de agua (H_2O) y el bióxido de carbono (CO_2).

La temperatura de la atmósfera no sólo se debe a su composición, sino a otros mecanismos termodinámicos no radiacionales como:

- *Convección atmosférica.* El aire caliente en contacto con la superficie de la Tierra se dilata, aligera y sube, al tiempo que el aire frío en las partes altas desciende, en un proceso de mezcla vertical continua.
- *Cambio de fase del agua.* El vapor de agua en el aire se condensa cuando asciende y enfría y al pasar de la fase gaseosa a la líquida libera calor.
- *Cambio de composición con la altura.* Con la altura la densidad de la atmósfera disminuye y también cambia su composición, hay menos vapor de agua, aunque la proporción de CO_2 es casi uniforme. En la figura 2.1 se presentan los perfiles verticales curvilíneos de la concentración de vapor de agua y de CO_2 ; mientras que el perfil de la temperatura es recto e igual a $6.5^\circ C/km$ (gradiente térmico).

Figura 2.1 Perfil vertical de temperatura y concentración de H_2O y CO_2

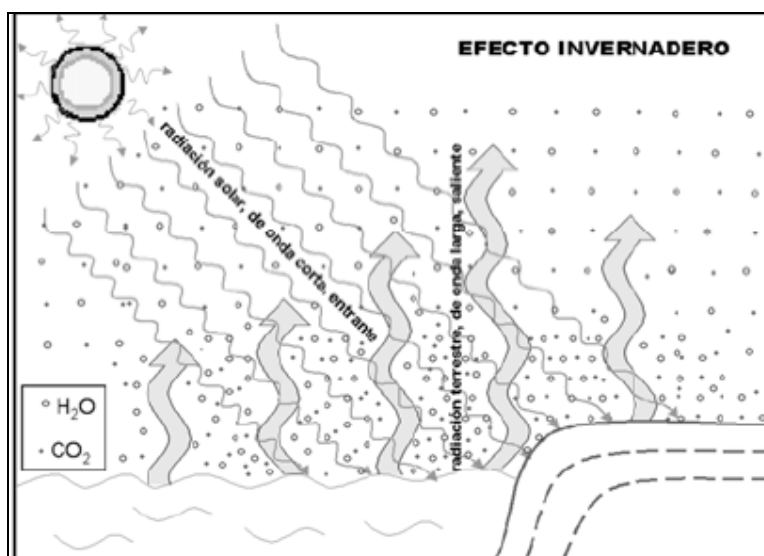


Fuente: Garduño, 2004

El vapor de agua contribuye en un 60% con el efecto invernadero, sin embargo es incapaz de amortiguar las variaciones de la temperatura superficial. Si se produce un incremento de la temperatura superficial, aumenta la evaporación del agua de ríos, mares y océanos y por lo tanto se acumula más vapor de agua en la atmósfera y esto incrementa aún más el efecto invernadero. Si por el contrario, disminuye la temperatura, también disminuye el contenido de vapor de agua de la atmósfera que se condensa y su contribución al calentamiento es menor.

En la figura 2.2 se presenta un esquema simplificado del balance energético de la Tierra, donde se omiten los siguientes elementos: la radiación solar reflejada por las nubes y la superficie, la radiación solar dispersada por la atmósfera, la radiación terrestre emitida en direcciones distintas a la vertical, la radiación (terrestre) reemitida por la atmósfera y las nubes, la radiación terrestre que se fuga al espacio exterior, así como la presencia y acción de otros gases traza. Esta simplificación se presenta con el fin exclusivo de mostrar la *transparencia* de la atmósfera a la radiación de onda corta del sol y su absorción de la radiación de onda larga de la Tierra.

Figura 2.2 Mecanismo simplificado del Efecto Invernadero



Fuente: Garduño, 2004

2.2.1 Calentamiento global

Gracias a la existencia del *Efecto invernadero* en la Tierra, se tiene la temperatura que propició el surgimiento y la evolución de la vida tal y como la conocemos; sin embargo, este efecto está siendo alterado anormal y artificialmente por el progreso humano de los últimos siglos.

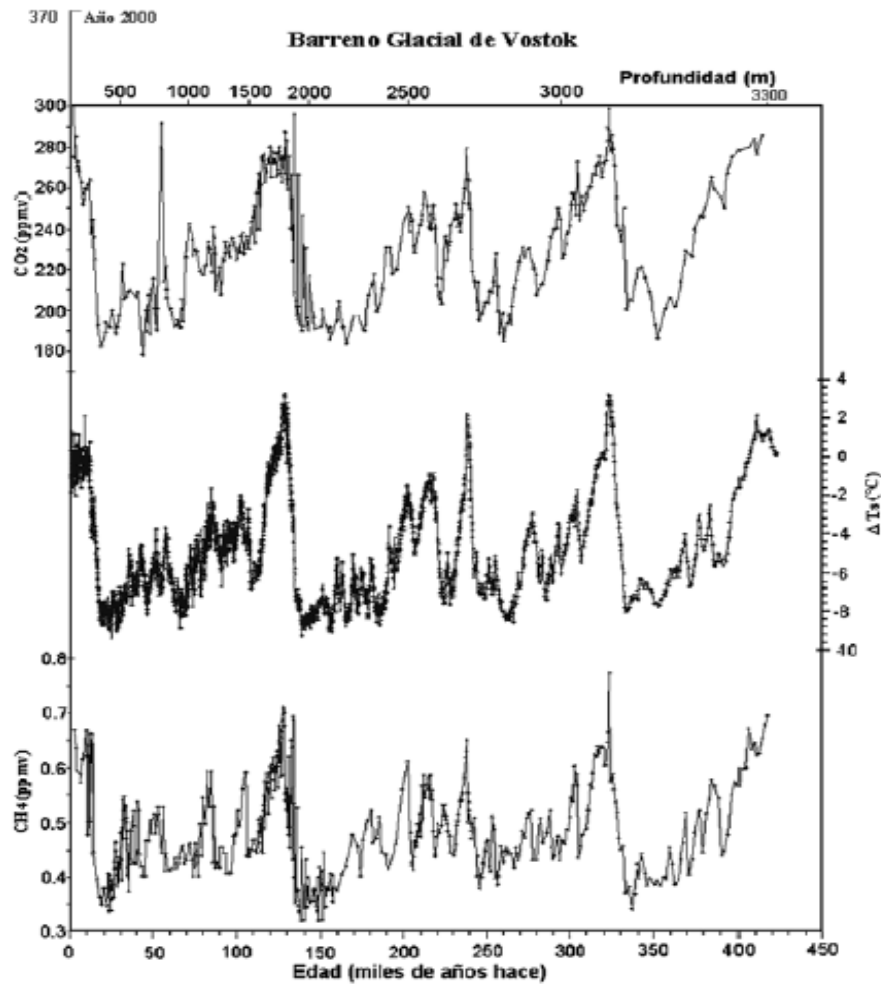
La figura 2.3 muestra los paleo-registros de temperatura y de contenido de CO₂ y CH₄ en la atmósfera a lo largo de 420 mil años (Garduño, 2004). Se puede observar que ha habido calentamientos y enfriamientos naturales y el clima ha cambiado muchas veces antes, ya que se trata de un sistema bio-geo-físico-químico, en el que la temperatura es parte del metabolismo natural de la biosfera de la cual el *efecto invernadero* es sólo un componente más. Sin embargo, el máximo de CO₂ alcanzado en ese periodo había sido de 280 ppmv, cuando el valor actual es de 370 ppmv y sale del cuadro de registros.

Es importante también hacer notar que la rapidez en el aumento de CO₂ se ha dado de manera insólita, siendo que los cambios previos necesitaron decenas de milenios. Además, once de los pasados doce años (1995-2006) se ubican entre los más cálidos registrados desde 1850 (Garduño, 2004).

Sin duda alguna experimentamos un cambio en la temperatura de la Tierra y lo más inmediato es considerar que se debe al aumento del *efecto invernadero*, relacionado directamente con el aumento en la concentración de los gases que naturalmente lo producen.

Además del vapor de agua y bióxido de carbono, arriba mencionados, existen otros gases en la atmósfera capaces de contribuir al *efecto invernadero* y el *cambio climático*. La revisión de las características de esos otros gases se encuentra fuera de los alcances de esta tesis, por lo que sólo se hará notar que el IPCC (por sus siglas en inglés: Intergovernmental Panel on Climate Change) recomienda expresar su concentración en función de CO₂.

Figura 2.3 Variación de temperatura y contenido de CO₂ y CH₄ en la atmósfera a lo largo de 420,000 años



Fuente: Garduño, 2004

La contribución de cada uno de los *Gases de Efecto Invernadero* (GEI), a la modificación de la temperatura media terrestre se conoce como el GWP (del inglés: Global Warming Potential) que define el efecto acumulado del forzamiento radiativo causado por unidad de masa del gas, en función del forzamiento del CO₂, tomado como referencia. Los valores GWP para los principales gases de efecto invernadero se presentan en la tabla 2.2, así como su contribución relativa, teniendo en cuenta el tiempo de vida medio y el aumento en concentración.

Tabla 2.2 GWP y contribución relativa de los GEI

Compuesto	GWP T=20 años	GWP T=100 años	Contribución relativa (%)	Incremento anual (%)
CO ₂ , bióxido de carbono	1	1	55	0.5
CH ₄ , metano	35	11	15	0.9
N ₂ O, óxido nitroso	260	270	4	0.25

Fuente: Seoáñez, 2003

2.2.2 Fuentes y destinos del CO₂

El carbono es un elemento fundamental de los compuestos orgánicos en los que se combina con nitrógeno, fósforo, azufre, oxígeno e hidrógeno para constituir las moléculas más importantes para la vida. En su unión molecular con el oxígeno constituye el CO₂.

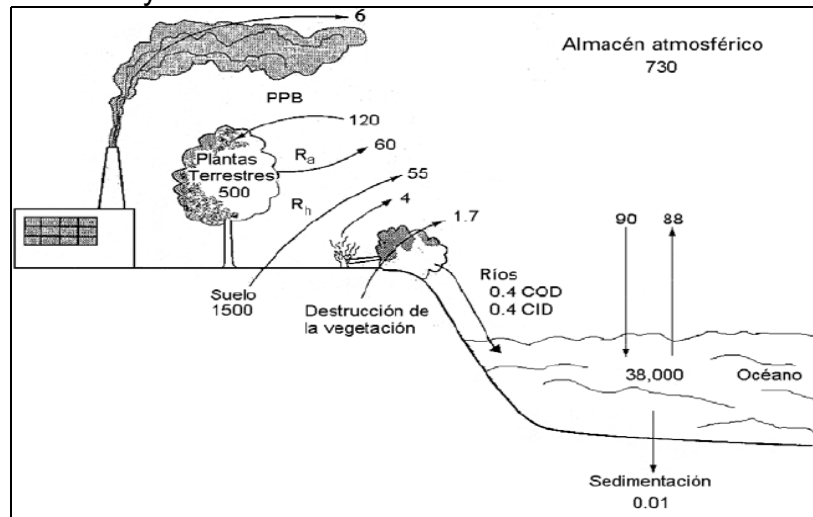
Las plantas adquieren el CO₂ atmosférico por difusión a través de los estomas y es transportado a los sitios donde se lleva a cabo la fotosíntesis. La cantidad que se fija y se convierte en carbohidratos durante la fotosíntesis se conoce como producción primaria bruta (PPB) y se estima globalmente en 120 PgC/año (ver figura 2.4). La mitad de la PPB se incorpora en los tejidos vegetales y la otra mitad regresa a la atmósfera como CO₂ debido a la respiración autótrofa (respiración de los tejidos vegetales, R_a).

El crecimiento anual de las plantas es el resultado de la diferencia entre el carbono fijado y el respirado, se le conoce como producción primaria neta (PPN) y a nivel global se ha estimado en 60 PgC/año. Eventualmente, casi todo el C fijado por vía de la PPN regresa a la atmósfera por medio de la respiración heterótrofa (R_h). Gran parte de la biomasa muerta se incorpora a la materia orgánica del suelo, donde es “respirada” a diferentes velocidades dependiendo de sus características químicas.

La diferencia entre la fijación de carbono por la PPN y las pérdidas por la R_h, en ausencia de otras perturbaciones, se conoce como la producción neta del ecosistema (PNE), y cuando todas las pérdidas (por incendios, la cosecha, el transporte por los ríos a los océanos o la erosión) de carbono se contabilizan, lo

que queda acumulado en la biosfera es la producción neta del biomasa, PNB; que se ha calculado en 0.2 ± 0.7 PgC/año para la década de los ochenta y en 1.4 ± 0.7 PgC/año para la de los noventa (Jaramillo, 2004).

Figura 2.4 Ciclo global del carbono. Esquema modificado de Schlesinger 1997 y actualizado con información de IPCC 2001



Cantidades en PgC y flujos en PgC/año. PPB = producción primaria bruta; R_a = respiración autótrofa; R_h = respiración heterótrofa; COD = carbono orgánico disuelto; CID = carbono inorgánico disuelto.

Fuente: Jaramillo (2004).

Se considera que existen dos mecanismos generales que operan de manera conjunta pero en escalas diferentes de tiempo. En el largo plazo, ciclo geoquímico carbono-silicato, el CO_2 atmosférico se disuelve en el agua de lluvia y forma ácido carbónico que reacciona con los minerales expuestos sobre la superficie terrestre, generando lo que se conoce como intemperismo de la roca. Los ríos acarrean los productos disueltos al océano, donde se forma el carbonato de calcio que se deposita en los sedimentos marinos y por el proceso de subducción entra a la corteza baja de la Tierra. En este proceso se reincorporan elementos a los minerales primarios de las rocas y el carbono regresa a la atmósfera como CO_2 , por las emisiones volcánicas e hidrotermales.

En el corto plazo, ciclo biogeoquímico, se distinguen dos grandes mecanismos de transferencias de carbono: el flujo de CO_2 de la atmósfera a las plantas como resultado de la fotosíntesis, y el regreso de CO_2 a la atmósfera como resultado de la respiración y descomposición de la materia orgánica.

Otro componente natural del ciclo del carbono lo constituye el CH_4 que se produce por la fermentación de la materia orgánica en condiciones anaeróbicas, tal como ocurre en los humedales y los sedimentos lacustres, entre otros.

Las causas del incremento de la concentración de CO_2 en la atmósfera son las siguientes: el uso industrial y doméstico de combustibles fósiles (que contienen carbono), la deforestación y la quema de biomasa vegetal. En el caso del metano son la agricultura, el uso de gas natural, los rellenos sanitarios y el aumento del hato ganadero. Sin embargo, el uso indiscriminado e ineficiente de los combustibles fósiles es el principal generador de la tendencia actual (ver tabla 2.3, IPCC, 2001).

Es importante hacer notar la variación en los flujos de carbono, más que la cantidad almacenada en los diferentes reservorios. El océano es el mayor almacén de carbono de la Tierra, pero la mayoría de este material no forma parte del intercambio activo con la atmósfera; las aguas superficiales oceánicas (menos de 80 metros) mantienen un equilibrio entre su concentración de CO_2 y la de la atmósfera, y absorben mediante diferentes procesos químicos y biológicos entre el 30 y el 50% de las emisiones antropogénicas. La solubilidad del CO_2 en el agua aumenta con la disminución de la temperatura del agua, de manera que las aguas marinas liberan CO_2 a la atmósfera en los trópicos y lo absorben en las latitudes altas (Seoanez, 2003).

Tabla 2.3 Balance global del carbono en PgC/año (1980 y 1990)

	1980	1990
Aumento atmosférico	3.3 ± 0.1	3.2 ± 0.1
Emisiones por combustión	5.1 ± 0.3	6.3 ± 0.4
Flujo océano-atmósfera	-1.9 ± 0.6	-1.7 ± 0.5
Flujo tierra-atmósfera. Dividido en:	-0.2 ± 0.7	-1.4 ± 0.7
Cambio de uso de suelo	1.7 (0.6 a 2.5)	ND
Sumidero terrestre residual	-1,9 (-3.8 a 0.3)	ND

Los valores positivos son flujos hacia la atmósfera y los negativos la captura desde la atmósfera. Las desviaciones son la incertidumbre del cálculo y no la variabilidad anual; que es sustancialmente mayor.

ND= información no disponible.

Fuente: en Jaramillo (2004), tomado de IPCC 2001.

Antes de seguir adelante con la discusión sobre los datos de aumento de GEI y sus posibles consecuencias, es indispensable distinguir entre “datos” e “información”, por lo cual presentamos a continuación las siguientes definiciones y aclaraciones.

2.3 Manejo de información

El establecimiento y trazado de planes han acompañado al hombre en casi todas sus actividades a lo largo del tiempo. Conforme fueron haciéndose más complejas las relaciones dentro de las sociedades humanas y las relaciones de estas con el medio que las rodeaba, fue necesario establecer planes para administrar los recursos y actividades. Actualmente, ningún país se puede dar el lujo de no planear su desarrollo.

En todos los ámbitos es necesaria la *planeación* y para esto debe definirse el *sistema* sobre el que se planeará.

Un sistema es el conjunto de elementos conectados entre si y con una finalidad común. Para estudiar un sistema es necesario tener datos sobre sus elementos y relaciones entre ellos. A su vez, estos datos deben ser organizados y validados de tal forma que se constituyan en un *sistema de información*. Comúnmente se

confunden los términos *datos* e *información*; sin embargo, para que un dato pueda considerarse como información, debe cumplir con las siguientes características:

- exactitud
- oportunidad
- relevancia

La *exactitud* significa que la información esté libre de interpretaciones erróneas, que sea clara, que se conozca la confiabilidad, exactitud y precisión con que fue obtenida y, por supuesto, que no esté sesgada.

La *oportunidad* hace referencia al marco temporal dentro del cual el receptor dispone de ella. Si la información no está disponible cuando se le requiere carece de valor y por lo tanto no puede ser considerada.

La *relevancia* o inteligibilidad significa la manera en la que el receptor recibe los datos, ya que si estos están en otro idioma o codificados o no responden a las preguntas específicas formuladas, carecen de utilidad y difícilmente podrán ser considerados información.

De la misma manera, la información se procesa y organiza dentro de *sistemas de información*, los cuales poseen las mismas características mínimas que la información además de las siguientes propiedades más específicas:

- confiabilidad
- disponibilidad
- flexibilidad
- programa de instalación
- vida útil y crecimiento potencial
- mantenimiento

La *confiabilidad* se obtiene cuando se utiliza un recurso en iguales procesos sucesivos y se llega a los mismos resultados.

La *disponibilidad* hace referencia a la accesibilidad de la información a usuarios específicos o público en general.

La *flexibilidad* se obtiene cuando el sistema tiene la habilidad para adaptarse a los cambios de requerimientos del usuario.

Un *programa de instalación* engloba el tiempo transcurrido entre que se reconoce una necesidad y se implanta una solución.

La *vida útil* y el *crecimiento potencial* se refieren a tener una expectativa temporal que permita al sistema de información responder al incremento de las necesidades del usuario.

Se requiere de *mantenimiento* cuando se implanta un sistema para mantener sus características de vida útil y crecimiento.

2.3.1 Herramientas para el manejo de información

Para manejar la información y los sistemas de información se han diseñado diferentes herramientas teóricas y computacionales que pretenden establecer claramente los pasos a seguir para garantizar la calidad de la información y por tanto las decisiones que se tomen a partir de dicha información.

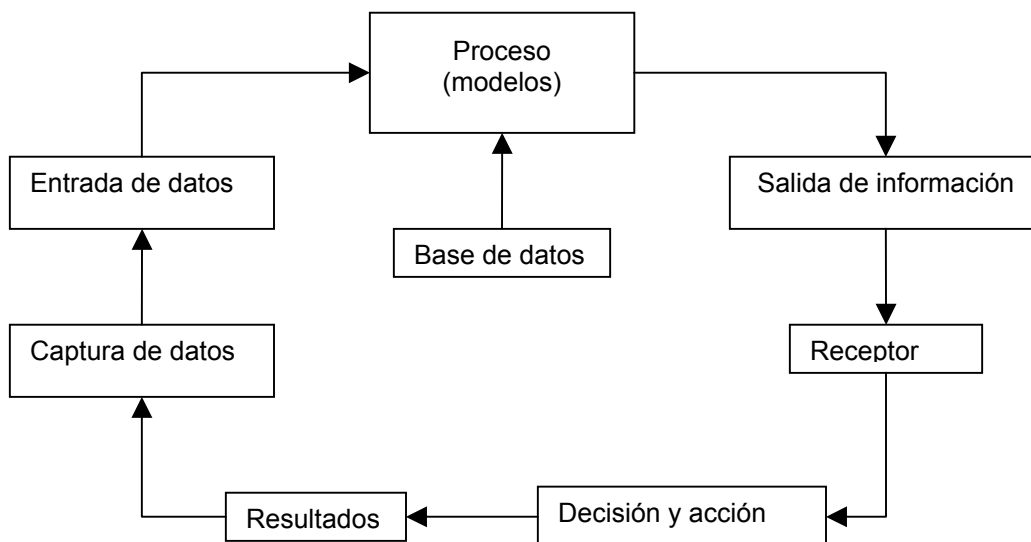
Las herramientas informáticas se agrupan generalmente en bloques informáticos, entre los cuales están:

- *Bloque de entrada*. Incorporan al sistema los datos, textos, métodos y medios utilizados para su captura o ingreso.
- *Bloque de modelos*. Consiste en una combinación de modelos lógicos, matemáticos y metodológicos para procesar los datos de entrada y arrojar información de salida.

- *Bloque de salida.* Es el producto de un sistema de información. Es la guía y la influencia de los otros bloques.
- *Bloque de tecnología.* Es la “caja de herramientas” de un sistema de información.
- *Bloque de base de datos.* Es donde se almacenan los datos para servir a las necesidades de los usuarios (información).
- *Bloque de controles.* Es la implantación de una variedad de procedimientos de seguridad respecto a los peligros y amenazas que presenten los sistemas de información.

Generalmente se define como *ciclo informático* al proceso formado por la obtención, proceso y uso de información. Las etapas de este ciclo, cuyas características particulares son bien definidas, se esquematizan en la figura 2.5.

Figura 2.5 Esquema del ciclo de información



Dentro del *ciclo de información* es posible destacar el bloque llamado *base de datos* que representa lo que hasta ahora hemos definido como *información*, y que la mayoría de las veces se obtiene a partir del manejo de los datos disponibles.

Entendiendo éstos bloques, la relación entre ellos y su contenido lógico y físico, se tienen las bases para describir, diseñar, desarrollar, controlar y dar mantenimiento a un sistema de información.

Como se mencionó en el capítulo anterior, la emisión de CO₂ no se mide directamente y por lo tanto se debe estimar a partir de datos disponibles. Se deben procesar los datos y convertirlos en información. En base a eso se fundamentarán las recomendaciones y/o decisiones. Con éste objetivo se deben emplear los criterios de sistemas de información para utilizar herramientas y evaluar la calidad de los datos ambientales disponibles.

2.3.2 Inventario de emisiones

En el caso de la contaminación atmosférica la información necesaria para la toma de decisiones se maneja en dos sistemas de información: *calidad del aire e inventarios de emisiones*. El primero hace referencia a las concentraciones esperadas y/o medidas en el aire ambiente de un sitio geográfico particular, mientras que el segundo lo conforman datos provenientes de modelos de emisión y/o medidas del flujo de un contaminante emitido directamente a la atmósfera por su fuente de generación.

Un inventario de emisiones es una base de datos que incluye a las fuentes contaminantes, su ubicación y la cantidad y características de sus descargas a la atmósfera. Es preparado para una región o zona específica (IMP, 2004).

Los inventarios se emplean para estimar los efectos de las emisiones, los cambios en las emisiones de las fuentes bajo distintos esquemas de regulación ambiental, las variaciones en los niveles de emisión a través del tiempo, la contribución de las diferentes fuentes de emisión o para identificar oportunidades y requerimientos para el intercambio de emisiones a través de bonos de emisión.

Para desarrollar un inventario de emisiones es necesario considerar:

- *Escala geográfica*: nacional, regional, estatal, municipal o por instalación industrial.
- *Escala temporal*: diaria (tiempo real), anual, mensual, trianual, etc.
- *Contaminantes*: criterio, tóxicos o GEI.
- *Tipos de fuente de emisiones*: puntuales, de área, fijas, móviles, naturales o antropogénicas.

Algunos ejemplos son, el Inventario Nacional de Emisiones, Registro de Emisión y Transferencia de Contaminantes, Inventario de Emisiones de GEI del Estado de Baja California y Inventario de emisiones 1996 del Programa Universitario de Energía.

2.3.3 Modelos matemáticos

En los dos apartados anteriores se introdujo el concepto de *modelo*, primero como el proceso de manipulación de datos e información para la elaboración del *sistema de información* y/o de *bases de datos*; y posteriormente, como la herramienta necesaria para estimar los datos de calidad del aire o de emisión, que no pueden medirse directamente.

Un modelo es una representación simplificada de la realidad, que se elabora para estudiar, entender y prever cambios de esa realidad sin necesidad de alterarla. Los modelos se clasifican desde diferentes puntos de vista, según su origen, construcción o finalidad. Existen modelos físicos, reproducciones de la realidad como los robots, simuladores, túneles de viento, etc.; modelos conceptuales y modelos matemáticos, estos últimos los más usados en ingeniería (INE, 2007a y b). Los modelos matemáticos pueden ser:

- estocásticos

- determinísticos

Los modelos *estocásticos* o *probabilísticos*, no producen resultados exactos y la incertidumbre de la función probabilística involucrada forma parte de la solución. Los modelos *estocásticos matemáticos de calidad del aire* están basados en el análisis estadístico de datos obtenidos por una red de monitoreo atmosférico; ejemplo: pronóstico de las concentraciones de un contaminante en las horas siguientes y las tendencias de las concentraciones del contaminante.

Los modelos *determinísticos* están definidos por una ecuación matemática (igualdad) y no encierran incertidumbre (a menos que se empleen métodos numéricos en su solución). Estos modelos tienen la capacidad de simular procesos como el transporte, la difusión atmosférica, las reacciones químicas y fotoquímicas; así como la sedimentación de diversas especies químicas o partículas.

Para llevar al cabo la modelación de la calidad del aire se establecen también parámetros de espacio, tiempo y estructura matemática. Esto es, un modelo de calidad del aire puede tener diferente:

- alcance espacial
- resolución temporal
- formulación matemática

Por su *alcance espacial* se clasifican en:

- a) Meso-escala. Para el estudio de dispersión de contaminantes a distancias de 100 a 1,500 Km.
- b) Locales. Para la dispersión de contaminantes a distancias de 1 a 100 Km. Se encuentran aquí los intermedios y de micro-escala.
 - Intermedios. Para distancias hasta de 15 a 100 Km. de la emisión.
 - Micro-escala. Realizan predicciones a distancias de 1 a 15 Km.

Por su *resolución temporal* se clasifican en:

- a) Promedio diario. Para periodos de tiempo de unos días a unas semanas.
- b) Episódicos. Estudian la dispersión en condiciones meteorológicas anormales de unas horas a unos días.
- c) En tiempo real. Aplican un modelo de tipo episódico alimentado con predicciones meteorológicas a corto plazo corregidas con datos en tiempo real.

Por su *formulación* se clasifican en:

- a) Modelos gaussianos. Usa una distribución normal para representar el fenómeno de difusión de contaminantes.
- b) Modelos de caja. Representa la dispersión dentro de un volumen cuyo límite superior es la altura de la capa de mezcla¹ y se emplean para representar áreas de varios km² con varias fuentes emisoras. No pueden ser usados cuando existen variaciones en los patrones meteorológicos y de emisión.
- c) Modelo de trayectoria. Se define una columna hipotética y se asume que no hay intercambio de masa entre la columna y sus alrededores, excepto por las emisiones que ingresan a la columna por la base durante su recorrido. Se usa en evaluaciones de calidad del aire que consideren el transporte a grandes distancias, para modelar el comportamiento de masas individuales de aire e incluso para evaluar la calidad del aire en casos en los que existan limitaciones de información para caracterizar las emisiones y la meteorología de una región completa².

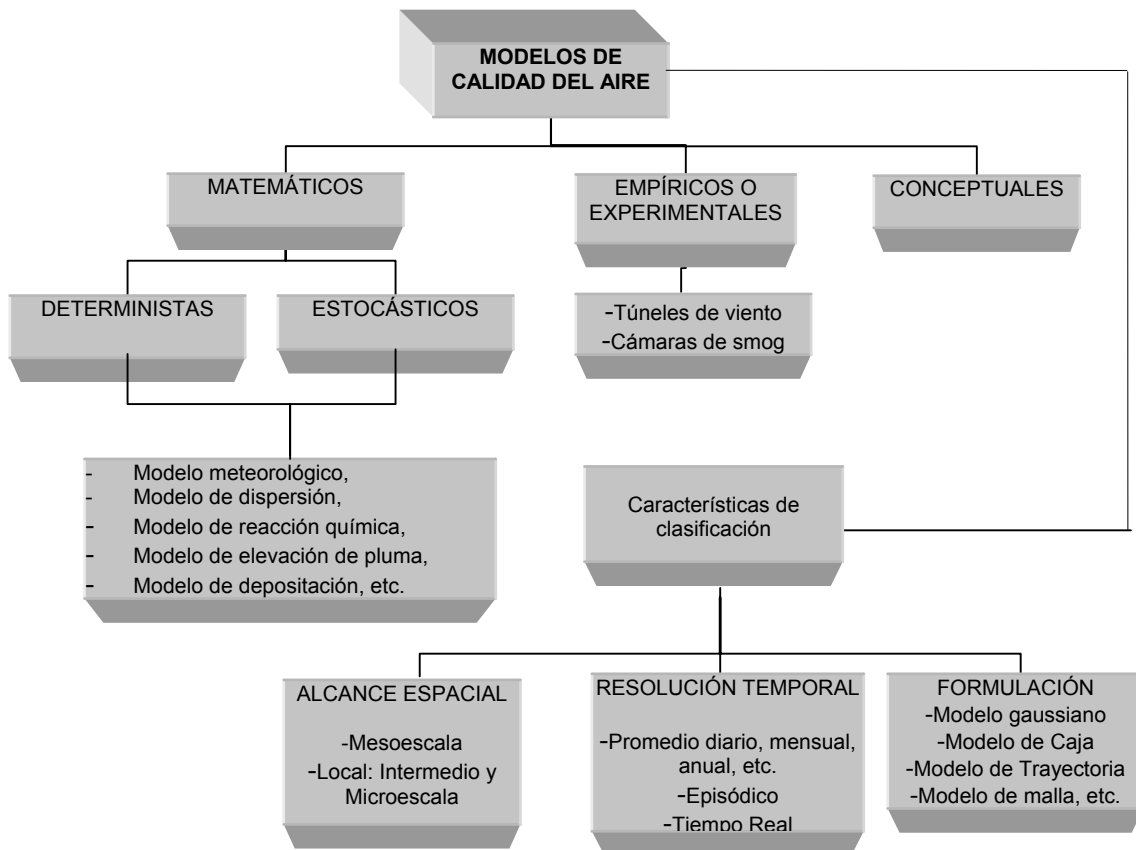
¹ Zona de la atmósfera donde existe turbulencia provocada por la rugosidad y el calentamiento del suelo.

² Entre los modelos de trayectoria se encuentran: California Institute of Technology Model -CIT, Hybrid Single Particle Lagrangian Integrated Trajectory Model –HYSPPLIT, y Advanced Statistical Trajectory Regional Air Pollution Model –ASTRAP.

d) Modelos de malla. La aplicación de estos modelos permite estimar las concentraciones de los contaminantes en función del tiempo, para diferentes puntos ubicados dentro de la región donde se lleva a cabo la simulación. Para las zonas urbanas se emplea un tamaño de celda entre uno y cinco kilómetros por lado.

A continuación se presenta un cuadro con la clasificación de los modelos explicada anteriormente (ver figura 2.6), siendo importante mencionar que es frecuente encontrar modelos que pertenecen a más de un bloque:

Figura 2.6 Clasificación teórica de los modelos de calidad del aire



Para el estudio de la emisión de CO₂, su dispersión en la atmósfera, absorción de calor y el efecto de esta absorción sobre las condiciones climatológicas de nuestro

planeta es necesario revisar los conceptos involucrados en los modelos de: emisión, meteorológicos, de dispersión y los llamados modelos de escenarios.

Modelos de emisión. Cuando la emisión de un contaminante puede relacionarse con un parámetro del proceso que lo origina se le conoce como *factor de emisión*, pero si la relación es más complicada y se requieren de varias variables simultáneas para estimar la emisión se le llama *factor de emisión complejo* o *modelo de emisión*.

Por la importancia que los factores de emisión tienen dentro de este trabajo se analizarán con más detalle posteriormente.

Modelo meteorológico. Es la modelación de los parámetros meteorológicos que afectan la dispersión de los contaminantes en la atmósfera. Existen de dos tipos:

- Modelos de diagnóstico
- Modelos de pronóstico

Los *modelos de diagnóstico o barotrópicos* proporcionan una estimación buena en condiciones estacionarias. Asumen que la temperatura a lo largo de una superficie de presión es constante.

Los *modelos de pronóstico* proporcionan la evolución del sistema atmosférico a través de la integración espacio-tiempo de ecuaciones de conservación de masa, calor y humedad.

Modelos de dispersión. Son la integración de aquellos elementos que inciden en el transporte y difusión de los contaminantes en aire. De gran utilidad para:

- la evaluación del impacto esperado por una o varias fuentes de emisión, ya sean puntuales, lineales o de superficie;
- cálculo de la altura de chimenea para optimizar la dispersión de los contaminantes emitidos;
- estimación de la capacidad de carga en un centro urbano;
- planificación urbana e industrial (escala local, regional y nacional);

- diseño de redes de calidad del aire;
- predicción de contaminación potencial, y
- elaboración de programas de prevención.

La ecuación fundamental a partir de la cual se elaboran los modelos matemáticos de dispersión y calidad del aire es la expresión diferencial para las velocidades de cambio en las concentraciones de los contaminantes, C_i . Esto es:

$$\frac{\partial C_i}{\partial t} + \frac{\partial(UC_i)}{\partial x} + \frac{\partial(VC_i)}{\partial y} + \frac{\partial(WC_i)}{\partial z} = Ri + Di + \frac{\partial}{\partial x} \left[K_x \frac{\partial C_i}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[K_y \frac{\partial C_i}{\partial y} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[K_z \frac{\partial C_i}{\partial z} \right]$$

en donde:

U, V, W componentes del vector velocidad del viento

K_x, K_y, K_z coeficientes de difusión

Ri cambio de concentración debido a reacciones químicas

Di cambio de concentraciones debido a fuerzas de cuerpo

Cuando se suponen condiciones estables, de emisión y viento, y la inexistencia de reacciones químicas o fuerzas de cuerpo es posible resolver esta ecuación. Una de las soluciones más populares es la que además supone que K_x es despreciable y los otros coeficientes de difusión son constantes y de valor igual a la desviación estándar de una distribución normal. La solución que se obtiene con tales suposiciones es conocida como “modelo gaussiano” y tiene la siguiente forma general (Heinke, 1999):

$$C_{(x,y,z)} = \frac{Q}{2 * \pi * \bar{u} * \sigma_y * \sigma_z} \cdot \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{y}{\sigma_y} \right)^2 \right] \cdot \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{H}{\sigma_z} \right)^2 \right]$$

donde:

Q caudal de contaminante emitido (masa por unidad de tiempo)

\bar{u} velocidad media del viento (m/s) en la altura de emisión

σ_y, σ_z desviación estándar de la distribución de concentración lateral y vertical (parámetros de dispersión)

x, y, z	coordenadas espaciales del receptor respecto a la fuente (el eje x está orientado en la dirección del viento; y forma un ángulo recto; z es el eje vertical)
H	altura efectiva de emisión

Modelo de escenarios. Es un modelo conceptual que representa diferentes situaciones hacia las cuales puede evolucionar un sistema. En el mecanismo de evolución es importante distinguir claramente: el objetivo, contexto, recursos, actores y episodios a modelar. El *objetivo* establece la finalidad del escenario; el *contexto* es el estado inicial del sistema (ubicación física y temporal); los *recursos* son las entidades pasivas con los cuales los *actores* cuentan para modificar el sistema de acuerdo con un *conjunto de episodios*. Un episodio puede referenciar a un escenario particular o el mejor o peor de los casos posibles.

2.3.4 Factores de emisión

Los factores de emisión son una herramienta frecuentemente usada para estimar emisiones en el manejo de la calidad de aire y desarrollar estrategias de control de emisión, determinar la aplicabilidad de programas de control y adoptar estrategias de mitigación.

Un factor de emisión es un valor representativo que relaciona la cantidad de un contaminante liberado a la atmósfera con una actividad productiva asociada con ese contaminante. Usualmente se expresan como el peso del contaminante dividido por una unidad de peso, volumen, distancia o duración de actividad que emite el contaminante.

La ecuación general para una estimación de emisión es:

$$E = A * FE$$

donde:

E emisión

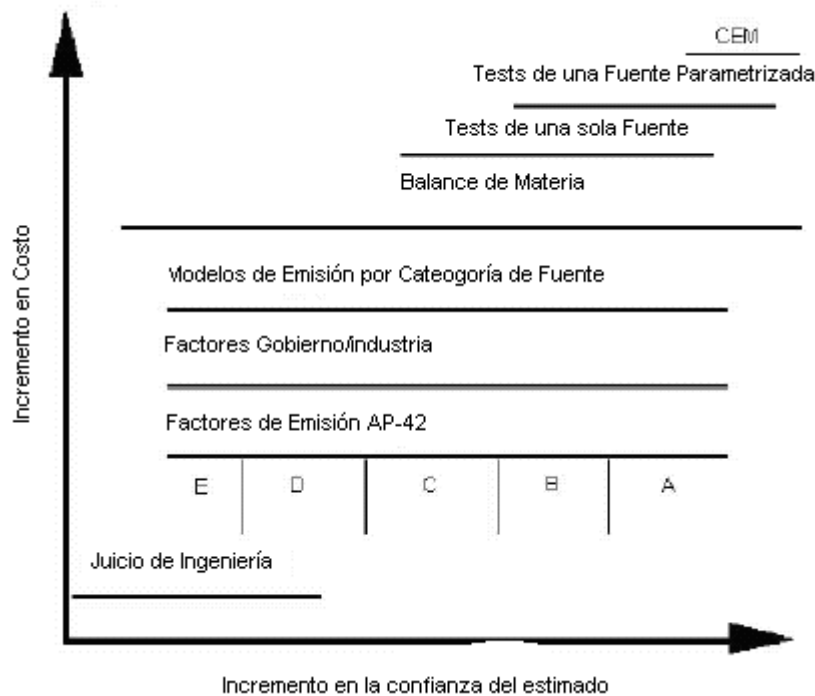
A nivel de actividad (activity rate)

FE factor de emisión

Para la elaboración de un inventario de emisiones es indispensable la selección adecuada de factores de emisión, ya que cada factor se desarrolla para una actividad productiva particular y siguiendo un método específico diferente (pruebas de campo, modelado, balance de masa, encuestas u otra información), por lo que no pueden ser empleados indiscriminadamente (EPA, 1996).

Los factores de emisión publicados por la EPA (Environmental Protection Agency) en su apéndice-42, se califican según se puedan aplicar con mayor o menor confianza. Esto es, los factores A son los que poseen mayor confiabilidad y campo de aplicación, los cuales se van disminuyendo hasta la clase E (ver figura 2.7).

Figura 2.7 Categorías de factores de emisión del AP-42



CEM- monitoreo continuo de emisiones

Fuente: EPA, 1996.

Como se mencionó anteriormente los factores de emisión complejos (que consideran más de un parámetro como nivel de actividad) son conocidos como modelos de emisión. Los modelos de emisión pueden clasificarse en tres tipos:

- adaptativos
- mecánicos
- de variable múltiple.

Los *modelos adaptativos* integran redes neurales, lógica confusa (fuzzy) y sistemas caóticos. No se recomiendan para los trabajos de inventarios en el corto plazo en México debido a los altos costos asociados con su instrumentación.

Los *modelos mecánicos* se basan en ecuaciones que han sido desarrolladas utilizando fundamentos de química, física y biología y a partir de estos principios básicos calculan la tasa de emisión de un tipo de fuente en particular.

El *modelo de variable múltiple* expresa las estimaciones de las emisiones en términos de un conjunto de variables que ayudan a caracterizar el sistema que se modela. Este enfoque es adecuado por ejemplo en lugares agrícolas, residenciales, comerciales e industriales. Los modelos de variable múltiple se basan en datos locales, esto permite que los efectos de las condiciones locales sean incluidos en las estimaciones de las emisiones.

3. SITUACIÓN ACTUAL

A partir de 1960 se comenzaron a elaborar obras como la de Rachel Carson “Silent Spring” (Carson, 1962), que hablan sobre la influencia del hombre en los cambios de los sistemas ambientales. El incremento en la preocupación sobre el tema puso en marcha distintos acontecimientos, como el Club de Roma de 1972 sobre los límites del crecimiento de la población; la primera Conferencia Mundial sobre el Medio Ambiente (Estocolmo, 1972) en donde se asume la responsabilidad de los riesgos ambientales globales por parte de los gobiernos y la sociedad; la Estrategia Mundial para la Conservación (1980), primera propuesta histórica para un desarrollo sostenible y la Comisión Mundial sobre Ambiente y Desarrollo. La urgencia de todas éstas asambleas, estrategias y comisiones desembocaron en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y Desarrollo en Río de Janeiro, 1992, que constituyó un hito en la toma de conciencia pública de la problemática ambiental. Aquí se firmó la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático.

3.1 Reconocimiento mundial del problema

A continuación se presenta un resumen de los acuerdos de tres de las muchas reuniones internacionales que se han llevado a cabo para discutir y tratar de buscar una solución al grave problema que actualmente enfrenta nuestro planeta.

3.1.1 Convenio Marco de las Naciones Unidas

El Convenio Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático, CMNUCC, entró en vigor en 1994. Reconoce los cambios y efectos adversos en el clima de la Tierra y determina que son una preocupación común de toda la humanidad. Tiene como objetivo estabilizar las concentraciones de GEI en la atmósfera a un nivel

que impida interferencias antropogénicas peligrosas en el sistema climático (SEMARNAT, 2007).

Para el cumplimiento de su objetivo, el Convenio establece dos agrupamientos de países: los países desarrollados o industrializados y los países en desarrollo. Los primeros, enlistados en el Anexo I de esta Convención (ver tabla 3.1), asumen compromisos cuantitativos de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero. El subgrupo, Anexo II, está constituido por los países desarrollados que además son donadores netos de ayuda y asumen el compromiso de apoyar con financiamiento y transferencia tecnológica a los países en desarrollo.

Tabla 3.1 Países incluidos en el Anexo I y II del Convenio

Anexo I		Anexo I y Anexo II		
Eslovenia ^{1,2}	Mónaco ^{1,2}	Alemania	Islandia	Turquía
Polonia ²	República Checa ^{1,2}	Australia ⁴	Italia	Estados Unidos de América ⁴
Bielorrusia ^{3,2}	Rumania ²	Austria	Japón	
Bulgaria	Ucrania ²	Bélgica	Luxemburgo	
Croacia ^{1,2}		Canadá	Noruega	
Estonia ²		Dinamarca	Nueva Zelanda	
Federación Rusa ²		España	Países Bajos	
Hungría ²		Finlandia	Portugal	
Letonia ^{3,2}		Francia	Reino Unido e Irlanda del Norte	
Liechtenstein ^{1,2}		Grecia	Suecia	
Lituania ^{1,2}		Irlanda	Suiza	

1: Países añadidos al Anexo I en virtud de una enmienda que entró en vigor en 1998

2: Países que se encuentran en transición hacia una economía de mercado

3: No forman parte del Anexo B del Protocolo de Kyoto.

4: Firmaron el Anexo B del Protocolo de Kyoto, pero no lo han ratificado

Fuente: SEMARNAT, 2007.

En su calidad de país en desarrollo, México no forma parte del Anexo I, sin embargo firmó el Convenio en 1992 y lo ratificó en 1993.

3.1.2 Panel Intergubernamental para el Cambio Climático

Este Panel (IPCC), fue creado en 1988 por la Organización Meteorológica Mundial y el Programa Ambiental de las Naciones Unidas (INE, 2006). Su objetivo es evaluar y analizar la información científica, técnica y socioeconómica relevante para entender los riesgos asociados al cambio climático inducido por las actividades humanas. El IPCC tiene tres Grupos de trabajo:

1. El encargado de los aspectos científicos relacionados con el sistema climático y el cambio climático.
2. El avocado a estudiar la vulnerabilidad de los sistemas naturales y socioeconómicos al cambio climático, las consecuencias tanto negativas como positivas de este cambio y las posibles medidas de adaptación.
3. El enfocado a la reducción de emisiones de GEI y la mitigación del cambio.

A la fecha el IPCC ha emitido cuatro informes de trabajo. Se resumen las principales conclusiones que han llegado los tres grupos de trabajo en el último informe elaborado:

GRUPO 1. Las concentraciones globales de bióxido de carbono, metano y óxido nitroso se han incrementado marcadamente como resultado de las actividades humanas desde 1750. La concentración de bióxido de carbono se debe principalmente a la quema de combustibles fósiles y al cambio del uso del suelo. La concentración atmosférica de bióxido de carbono pasó de 280 ppm en la era preindustrial a 379 ppm en 2005.

El forzamiento radiativo (alteración de las características de la atmósfera) del bióxido de carbono se incrementó un 20% de 1995 a 2005, el mayor cambio para cualquier década en los pasados 200 años. Once de los pasados doce años (1995-2006) se ubican entre los más cálidos registrados desde 1850. El contenido de vapor en la atmósfera se ha incrementado desde la década de 1980 sobre la Tierra y en el océano, así como en la troposfera. El océano ha absorbido más del 80% del calor adicional al sistema climático. Tal calentamiento causa la expansión

de los cuerpos de agua marina, lo cual contribuye al incremento del nivel del mar. De 1961 a 2003, el aumento promedio del nivel del mar fue de 1.8 mm por año. La tasa de crecimiento fue mayor de 1993 a 2003 con 3.1 mm por año

GRUPO 2. Es muy probable que los recursos hídricos se vean disminuidos (entre el 10% y 30%) en regiones de latitudes medias y en el trópico húmedo y que en el transcurso del siglo XXI se reduzca el agua almacenada en los glaciares y nieve.

Los ecosistemas experimentarán pérdida de especies (entre un 20% al 30% de las especies estudiadas en riesgo de extinción).

Si se presenta un aumento global menor a 3°C, es probable que la productividad agrícola se incremente en latitudes altas. En latitudes bajas, los decrementos en esta productividad se pueden dar aun con cambios locales de temperatura menores (entre 1 y 2°C). Si se presenta un aumento superior a los 3°C de incremento en la temperatura global, es probable que la productividad disminuya en la mayoría de las regiones del planeta.

GRUPO 3. Entre 1970 y 2004, las emisiones de los GEI, han aumentado en 70% (24% desde 1990). Esto ha ocurrido porque el aumento en población e ingreso per cápita ha sido mayor que el decremento en la intensidad energética de la producción y el consumo.

En el 2004, los países desarrollados tenían el 20% de la población mundial, y el 46% de las emisiones globales de GEI.

Existe un potencial económico de mitigación de GEI de todos los sectores en las décadas por venir, suficiente para compensar el crecimiento en las emisiones globales, e incluso reducirlas por debajo de los niveles actuales.

Resulta más barato invertir en mejoras en eficiencia energética que en incrementar la oferta de energía.

Para el *sector industrial*, el mayor potencial de mitigación se encuentra en las que son intensivas en uso de energía, de las cuales más del 50% se localiza en países en desarrollo.

Para el *sector agrícola y forestal* el 50% de la mitigación puede lograrse reduciendo la deforestación y la degradación de los bosques.

3.1.3 Protocolo de Kyoto

Considerando que los compromisos del Convenio Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático no eran adecuados para alcanzar los objetivos de estabilización formulados, se negoció el Protocolo de Kyoto en la tercera reunión de la Conferencia de las Partes (COP-3) en Japón.

El Protocolo de Kyoto es el acuerdo más completo de la comunidad internacional para reducir las emisiones de GEI. El artículo 12 de este Protocolo incluye el bióxido de carbono, metano, óxido nitroso, halocarbonos (HFC, PFC), y hexafluoruro de azufre. Además, establece compromisos cuantitativos para países desarrollados durante el período de 2008 a 2012; mecanismos de flexibilidad como la implementación conjunta, el mecanismo de desarrollo limpio, MDL (representa la posibilidad de transferir reducciones de emisiones entre los países del Anexo I y los países en vías de desarrollo); y el comercio de derechos de emisión.

Estados Unidos firmó, pero no ratificó una meta de reducción de 7% de su emisión de GEI; esto provoca una pérdida de 45% a la reducción esperada por parte de los países desarrollados. México firmó el Protocolo en 1997, año en el que éste se formalizó y lo ratificó en 2001.

El Protocolo de Kyoto, en su Anexo B, precisa los compromisos cuantitativos de reducción de emisiones de los países del Anexo I del Convenio Marco de las

Naciones Unidas (ver tabla 3.1). Para el primer periodo de cumplimiento 2008-2012, suman en conjunto el 5% de sus emisiones en 1990.

Hasta octubre de 2006, el Convenio Internacional de cambio climático, con base en los dictámenes mensuales del Comité Mexicano para Proyectos de Reducción de Emisiones y Captura de Gases de Efecto Invernadero (COMEGEI), había expedido 144 Cartas de Aprobación a proyectos mexicanos. Hasta septiembre de 2007, 21 proyectos MDL obtuvieron sus primeras Reducciones Certificadas de Emisiones (bonos de carbono). Estos 21 proyectos colocan a México en tercer lugar mundial por número de proyectos y en el quinto por las Reducciones Certificadas de Emisiones esperadas (INE, 2006).

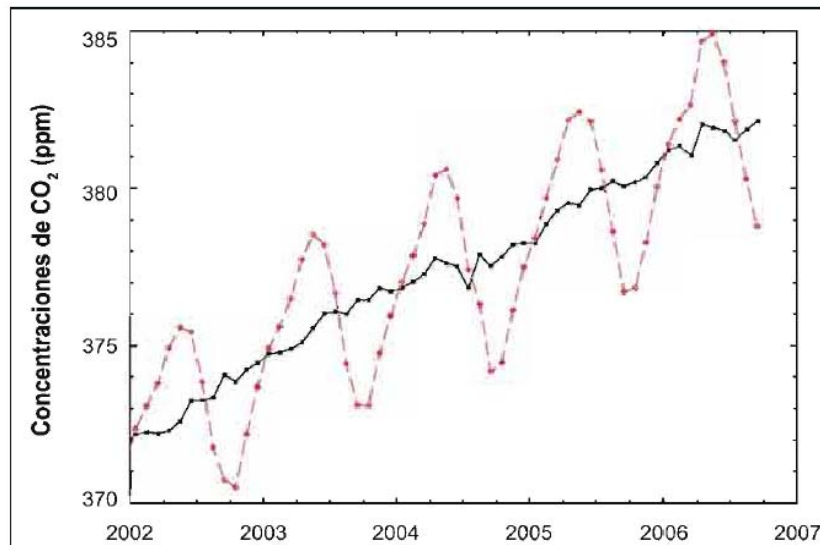
3.2 Emisiones mundiales de GEI

La emisión de gases GEI y en particular de CO₂ aumentó considerablemente en el siglo XX, además de que la disminución de áreas verdes también fue en aumento dando como resultado el incremento desmedido de este gas en la atmósfera (ver figura 3.1). La proporción exacta en el aumento de CO₂ relacionada con las actividades humanas es un tema controversial, pero independientemente de eso es importante revisar algunos de los datos que están siendo empleados por los grupos internacionales para enfrentar el problema.

La figura 3.2 muestra la contribución de diferentes actividades humanas en las emisiones de CO₂, CH₄, y N₂O a nivel mundial. Se puede observar la importancia del CO₂ dentro de las emisiones totales y de la producción de energía eléctrica como fuente de emisión.

Además de identificar las actividades que emiten GEI, resulta relevante identificar los países que contribuyen más a estas emisiones. La figura 3.3 corresponde a las emisiones de 2005 y en ella es posible notar que nuestro país participa con el 2% (Quadri, 2007).

Figura 3.1 Concentración atmosférica de CO₂ registrada por el observatorio Mauna Loa, Hawai.

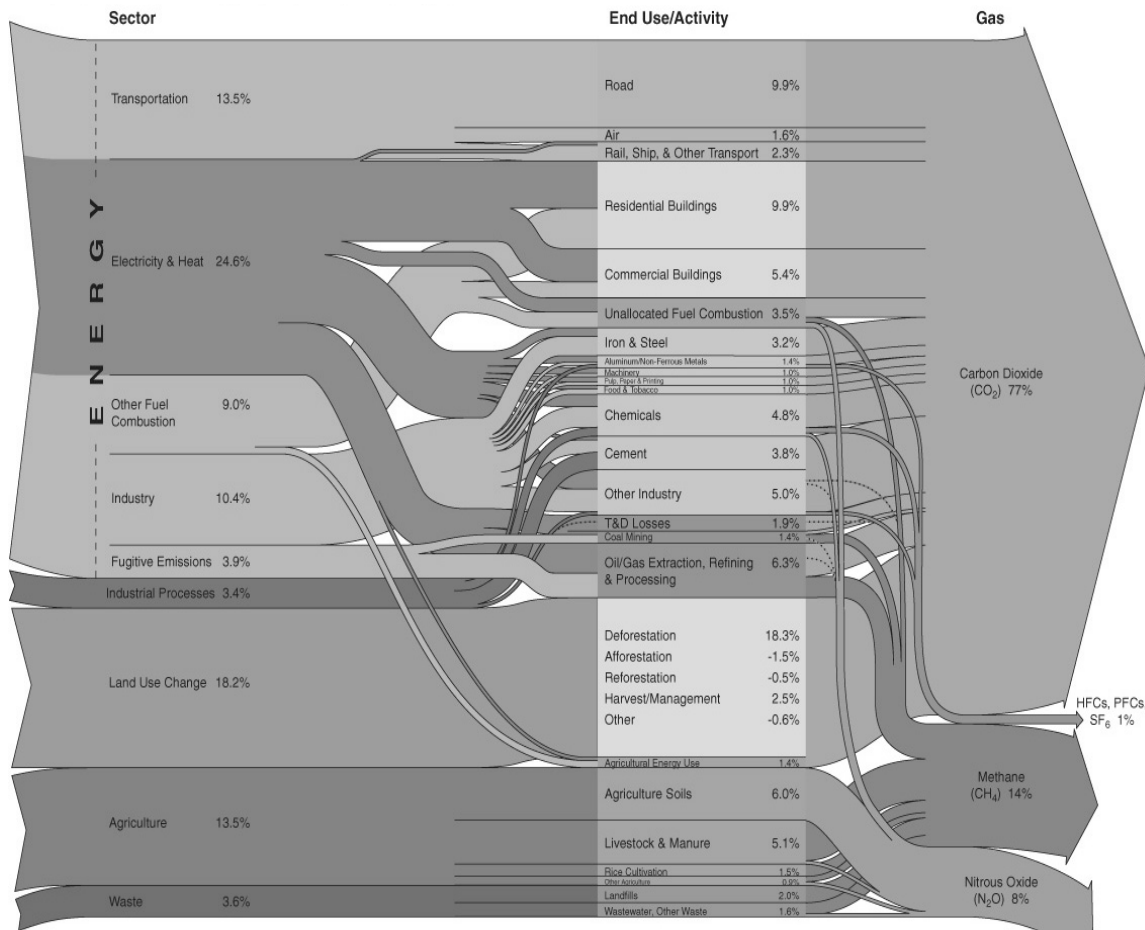


La línea roja representa los valores promedio mensuales; la línea negra representa los mismos datos corregidos por el promedio del ciclo estacional.

Fuente: Garduño, (2004) en NOAA: <http://www.cmdl.noaa.gov/cogg/trends/>

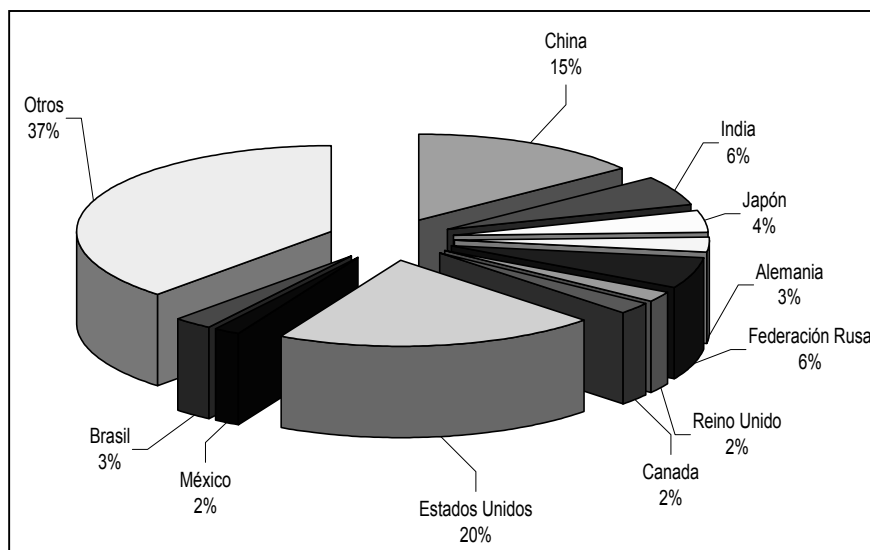
Es importante hacer notar que éstas figuras fueron obtenidas de una mesa de dialogo sobre cambio climático. En ellas, no se proporciona información del año al que pertenece la información contenida en la figura 3.2 y 3.3. Sin embargo, la fuente de información reportada es de 2005: WRI 2005.

Figura 3.2 Diagrama de emisiones mundiales de GEI



Fuente: en Quadri (2007).

Figura 3.3 Contribución de diferentes países en las emisiones de GEI



Fuente: en Quadri (2007).

3.3 Zona Metropolitana de la Ciudad de México

En cuanto a nuestro país es muy probable que la temperatura promedio sea entre 2 y 4°C más elevada para el periodo 2020–2080. La temperatura de la superficie del mar en el Caribe, Golfo de México y Pacífico mexicano podría aumentar entre 1 y 2°C, favoreciendo las probabilidades de que los ciclones tropicales alcancen categorías mayores en la escala Saffir-Simpson. El ciclo hidrológico se volverá más intenso, es de esperar que aumente el número de tormentas severas, pero que también se puedan producir periodos de sequía más extremos y prolongados, así como la posibilidad de un mayor número de incendios forestales (INE, 2007c).

Para comprender estos posibles cambios en el clima de la República mexicana y sus posibles implicaciones en la Ciudad de México es necesario describir las características generales de esta ciudad y su contribución dentro de las emisiones de GEI.

3.3.1 Características generales de la ZMCM

La Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM) se ubica a 2,240 sobre el nivel del mar, se caracteriza por ser una cuenca lacustre naturalmente cerrada por grandes cadenas montañosas de origen volcánico. Se encuentra rodeada por una cadena montañosa integrada por las formaciones de la Sierra de Monte Bajo, Sierra de las Cruces, Sierra del Chichinautzin, Sierra Nevada y Sierra del Río Frío. La cadena montañosa alcanza su nivel más alto hacia el oriente con más de 5,000 msnm, mientras que en el norte la altura máxima es de 3,000 msnm (ver figura 3.4).

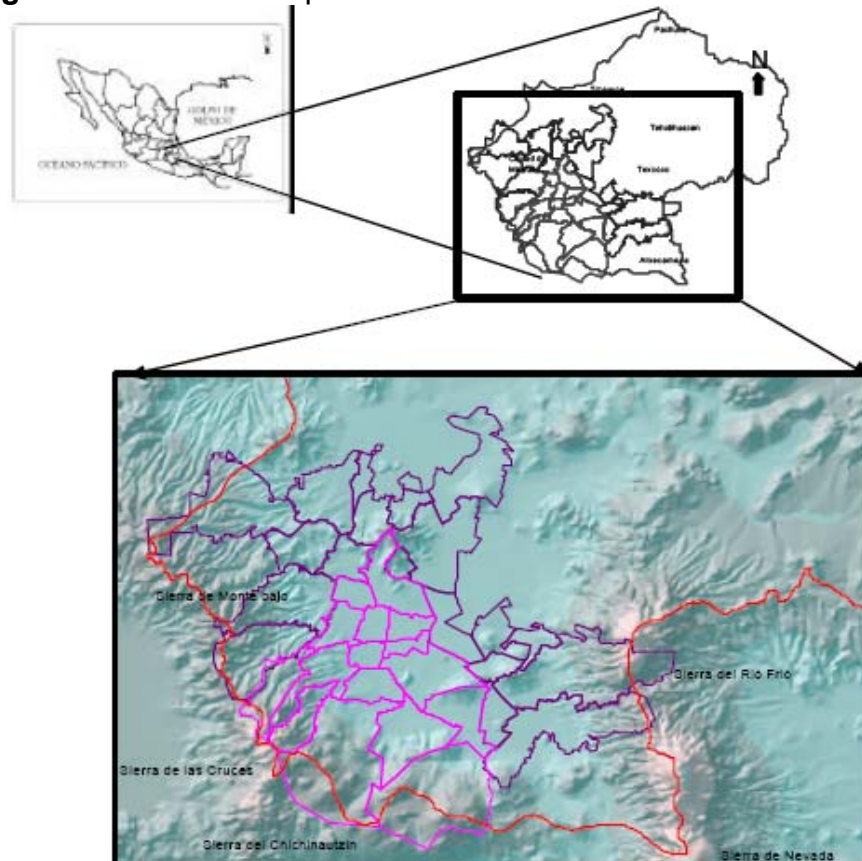
Entre los principales factores fisiográficos y climáticos que afectan la calidad del aire de la ZMCM destacan:

- El entorno montañoso que la rodea constituye una barrera natural que dificulta la libre circulación del viento y la dispersión de los contaminantes.

- Por su altitud frecuentemente ocurren inversiones térmicas, que causan un estancamiento temporal de las masas de aire en la atmósfera. Ello inhibe la capacidad de autodepuración y favorece la acumulación de contaminantes.
- Por su posición continental entre dos océanos, son frecuentes los sistemas anticiclónicos que se registran en la región centro del país, los cuales tienen la capacidad de generar grandes masas de aire inmóvil.
- Debido a su latitud tropical, la intensa radiación solar que se registra en la ZMCM favorece la formación de ozono (SMA, 2006)

La ZMCM es una conurbación integrada por las 16 Delegaciones Políticas del Distrito Federal y 59 Municipios del Estado de México que en total tiene una superficie aproximada de 7,800 km², como se muestra en la figura 3.5.

Figura 3.4. Zona Metropolitana de la Ciudad de México



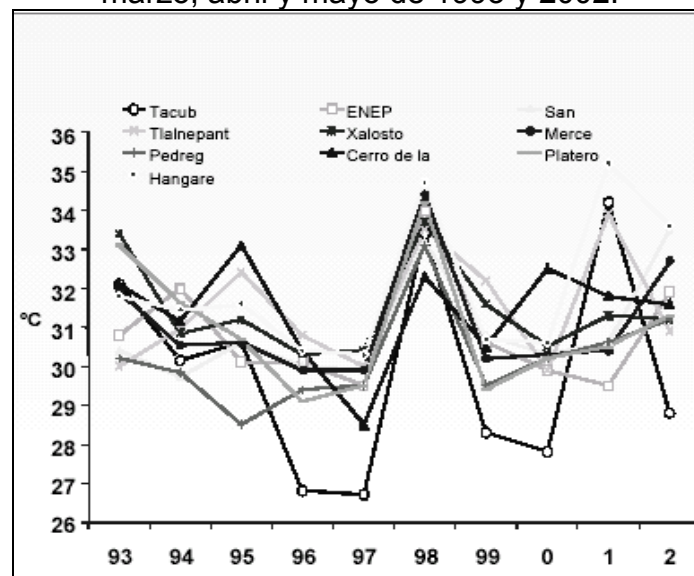
Fuente: SMA (2006).

considerada (IPCC, 2001). Algunas de las predicciones, calificadas como muy probables, presentadas por el IPCC y aplicadas para la ZMCM son:

1.- *Temperaturas máximas.* Las temperaturas máximas serán más elevadas, con días más calientes y ondas de calor más frecuentes en casi todo el mundo.

Para la ZMCM. Esta ciudad es muy vulnerable a tal condición por la relación entre elevación de temperatura, grado de evapotranspiración, mantenimiento de cuerpos de agua e infiltración a mantos acuíferos. Los años recientes han visto un aumento en las temperaturas máximas, principalmente en primavera, con ondas de calor que han alcanzado entre 33 y 35°C. Cuando se analizan los datos de los últimos diez años, se encuentra que las temperaturas máximas tienden a ser cada vez mayores, como lo muestra la siguiente figura.

Figura 3.6 Mayores temperaturas máximas alcanzadas en el Distrito Federal entre marzo, abril y mayo de 1993 y 2002.

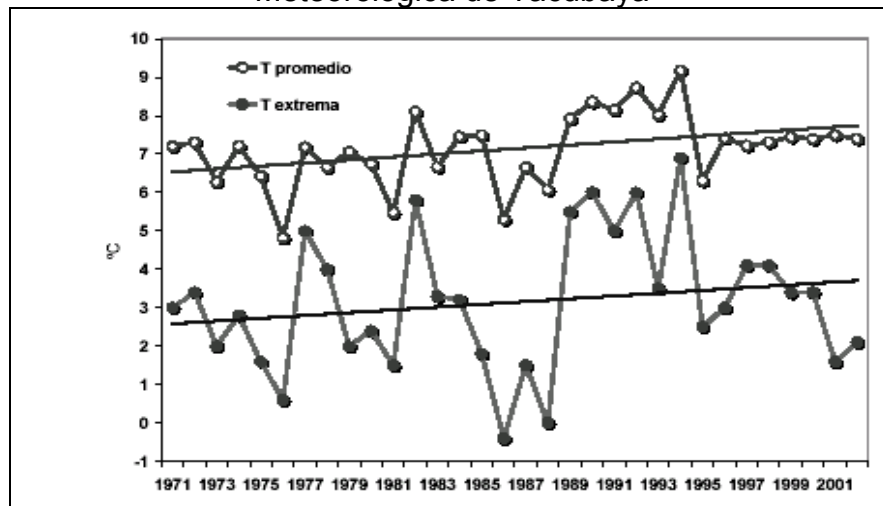


Fuente: SMA (2004).

2.- *Temperaturas mínimas.* Se espera que las temperaturas mínimas sean más elevadas, con lo que habrá menos días fríos, días de heladas y ondas de frío.

Aunque en invierno los fríos son intensos, la temperatura en la ciudad ha ido en aumento. Hoy es poco común que las temperaturas mínimas se encuentren por debajo de los 0°C. La tendencia es que dichos valores sean cada vez mayores. En la figura 3.7 del Observatorio de Tacubaya en la ciudad de México se puede observar este aumento de temperaturas mínimas.

Figura 3.7 Temperaturas promedio y mínimas en la estación Meteorológica de Tacubaya



Fuente: SMA (2004)

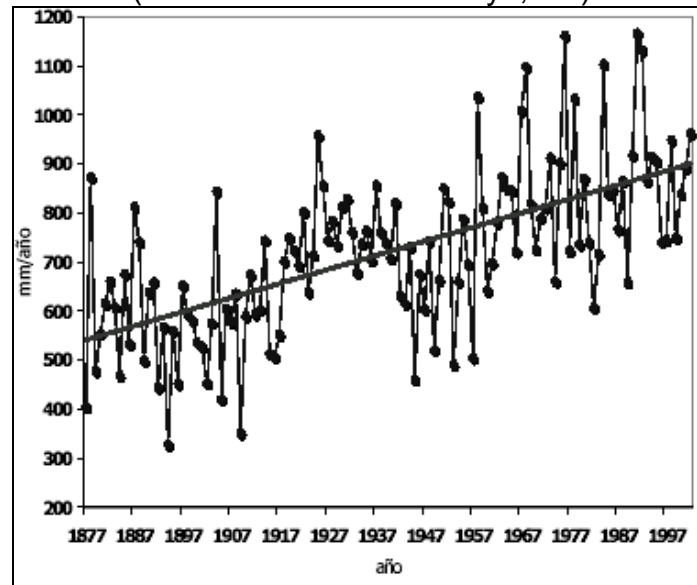
3.- *Precipitación.* Se esperan más sucesos de precipitación fuerte, lo que significaría un aumento de los daños por inundaciones, aludes, derrumbes y, erosión del suelo, así como en las escorrentías; que si bien pudiera llevar a un aumento de recarga de algunos acuíferos, también resultarán en una mayor presión sobre los gobiernos para atender desastres.

Para la ZMCM. De acuerdo a datos del observatorio de Tacubaya, la precipitación aumentó de 600 mm/año a principios del siglo XX, a casi 900 mm/año para finales del mismo siglo (ver figura 3.8).

El problema de mayores precipitaciones se debe en gran medida a que el número de eventos extremos de precipitación esto es, los llamados aguaceros (más de 30

mm/hr), se han incrementado también, pasando en el mismo periodo de 1 ó 2 a 6 ó 7 por año.

Figura 3.8 Precipitación anual acumulada
(Observatorio de Tacubaya, DF)



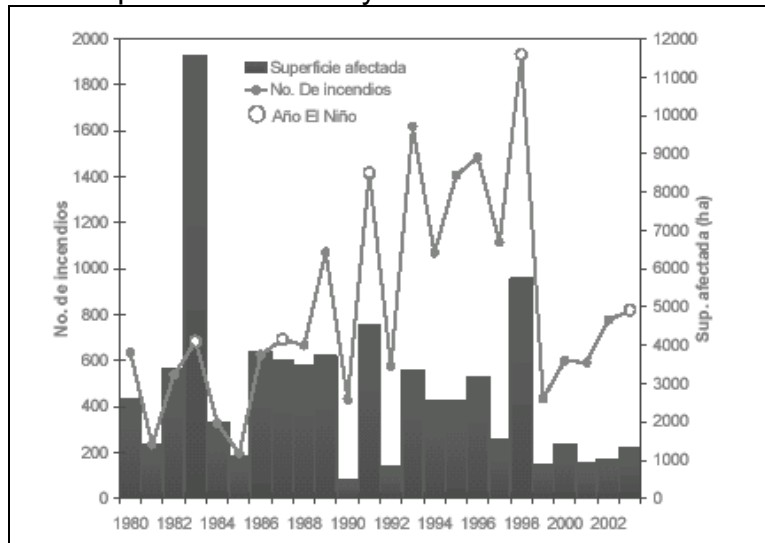
Fuente: SMA (2004)

4.- *Sequía*. Aumento de la sequedad en verano en la mayoría de las regiones continentales interiores de latitud media, con disminución del rendimiento de las cosechas, aumento de los daños a los cimientos de edificios por contracción del terreno, disminución de la cantidad y calidad de recursos hídricos y mayor riesgo de incendios forestales.

Para la ZMCM. Durante la temporada de estiaje o secas, la falta de humedad en el suelo, temperaturas altas y rachas de vientos intensos provocan con frecuencia incendios forestales en las áreas de conservación del Distrito Federal (ver figura 3.9).

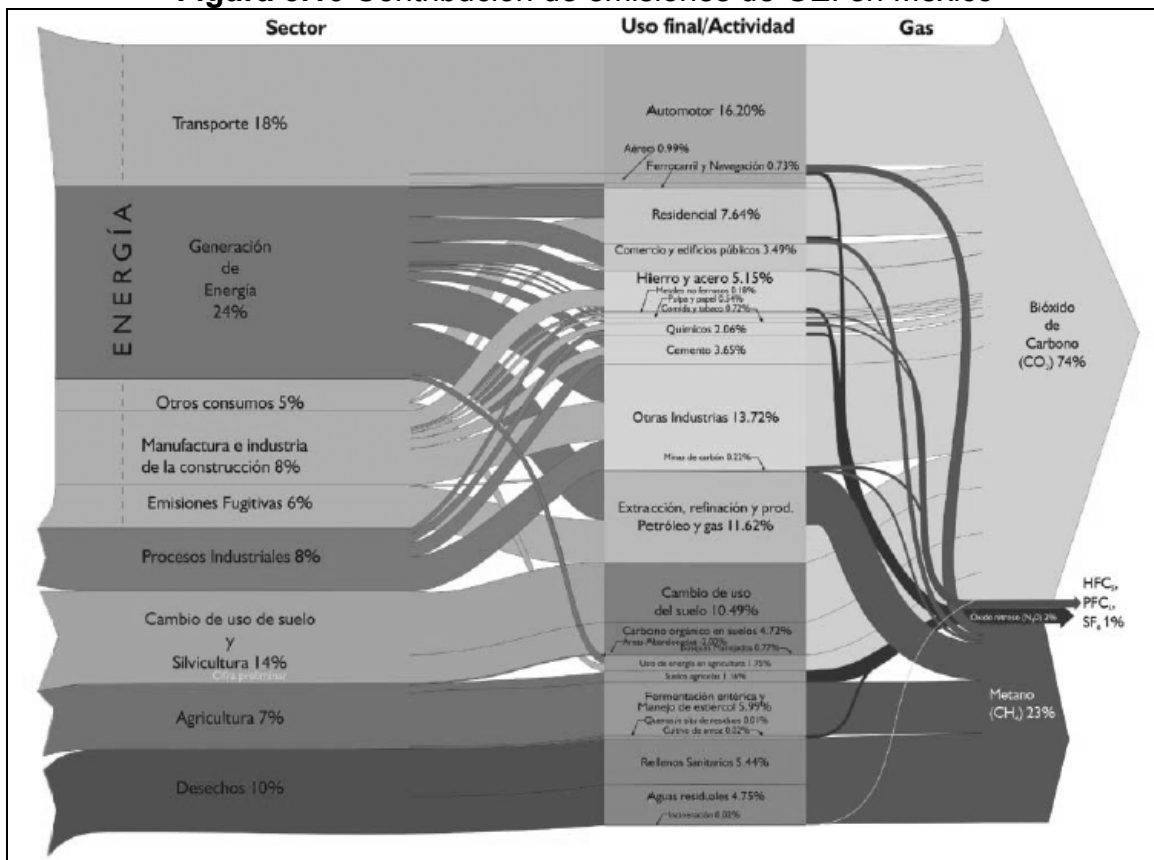
En cuanto a las emisiones de GEI provenientes de la ZMCM, la cantidad de estas y la forma de estimarlas serán revisadas en detalle en el capítulo siguiente, anotándose aquí sólo la contribución estimada por el IPCC (ver figura 3.10), para las diferentes actividades en nuestro país,

Figura 3.9 Superficie afectada y número de incendios en la ZMCM



Fuente: SMA (2004)

Figura 3.10 Contribución de emisiones de GEI en México



Fuente; INE, 2006.

4. EMISIONES DE CO₂ EN LA ZMCM

En la ciudad de México no se mide la concentración de CO₂ en el aire ambiente, éste se estima mediante modelos de emisión. Las industrias de jurisdicción federal deben reportar anualmente ante la Secretaría del Medio Ambiente la emisión de este gas (SEMARNAT, 2007), mientras instituciones educativas o centros de investigación, en ocasiones con patrocinio extranjero, estiman las emisiones de este y otros sectores de interés.

Conociendo la importancia del CO₂ como gas de efecto invernadero, estas estimaciones para nuestra ciudad constituyen la base sobre la cual se fundamentan y diseñan los programas de mejoramiento de calidad del aire. Y por lo tanto, es necesario revisarlos para establecer su calidad y elaborar un sistema de información.

Éste capítulo reúne dos categorías de información relacionados con los GEI en la ZMCM. La primera son los inventarios de emisiones específicos para nuestra ciudad y la segunda agrupa otros estudios o proyectos nacionales que consideran dentro de su sistema de estudio a la ZMCM.

4.1 Inventarios de emisiones

Son instrumentos utilizados para el diseño de estrategias, programas y planes para el mejoramiento de la calidad del aire. Están formados por las estimaciones de todas las emisiones de contaminantes que se generan en un área determinada; tales emisiones pueden provenir de industrias, comercios, servicios, hogares, vehículos automotores, aeronaves y la vegetación.

Los inventarios estudiados en éste trabajo tienen en común las mismas características en cuanto a su escala geográfica, temporal, contaminantes considerados y fuentes de emisiones consideradas. Esto es:

- *Escala geográfica.* Regional, ya que el sistema ambiental es la ZMCM.
- *Escala temporal.* Anual, aunque algunos se elaboraron por vez única.
- *Contaminantes.* Los inventarios pueden incluir más de un contaminante, pero por motivos de este estudio sólo se analizará el CO₂.
- *Tipo de fuentes de emisiones:* Consideran fuentes de todos tipos.

4.1.1 Estrategia Local de Cambio Climático

Elaborada en el 2004 por el Gobierno del Distrito Federal presenta las emisiones totales para la ZMCM de GEI, como CO₂eq, durante el año 2000 (SMA, 2004). Se le llama CO₂eq porque considera las emisiones de CH₄ y el N₂O calculando su equivalente en CO₂ de acuerdo con el potencial de calentamiento de estos gases.

Las emisiones de CO₂eq que se reportan en este inventario, para el año 2000 se presentan en la tabla 4.1 de las cuales la tabla 4.2 presenta las que corresponden solamente a CO₂.

Tabla 4.1 Emisiones de GEI en la ZMCM, 2000

SECTOR	FUENTE DE EMISIÓN	TIPO DE COMBUSTIBLE	EMISIONES CO ₂ EQ (MTON)
Transporte Industrial Residencial Comercial Público Gobierno	Combustión directa	Gasolina	17.506
		Gas Natural (incluye generación eléctrica)	8.003
		Gas Licuado de Petróleo	5.644
		Diesel	4.013
		Combustóleo	0.664
		Gasóleo	0.564
		Leña	0.231
		Petróleo Diáfano	0.008
		Coque	0.004
		Querosinas	0.000
	Subtotal	36.636	
	Consumo electricidad	Generación eléctrica en la ZMCM Importación de electricidad hacia la ZMCM	3.081 13.699
		Subtotal	16.779
Suelo de conservación			0.183
Residuos sólidos			3.589
Total			54.107

Fuente: SMA, 2004.

Tabla 4.2 Emisiones de CO₂ en la ZMCM, 2000

SECTOR	EMISIONES CO ₂ (MTON)	
	SUBTOTAL	TOTAL
Transporte		20 ¹
Industrial	7.92 ¹	17.12
	9.2 ²	
Residencial	4.4 ¹	8.54
	4.14 ²	
Gobierno DF	0.02 ¹	0.88
	0.86 ²	
Comercial	1.1 ¹	2.9
	1.8 ²	
Servicio público DF		0.652 ²
Suelo conservación		0.148
Residuos sólidos		0.416
Total	50.656	50.656

1 Emisiones directas por la quema de combustibles

2 Emisiones indirectas debidas al consumo de energía eléctrica

Fuente: SMA, 2004.

La metodología general utilizada para elaborar este inventario es el estimar las emisiones totales del gas de interés, ET , a partir de la actividad energética relacionada con las emisiones de ese gas. Esto es:

$$ET = \sum_j \sum_m \sum_k A_{jmk} * C_{jmk}$$

A_{jmk} = Actividad energética del sector j , utilizando la tecnología m y con el energético k

C_{jmk} = Coeficiente de emisión del GEI asociado con jmk .

Actividad energética (A_{jmk}): Este valor se estima en forma diferente para cada sector de actividad considerado. En la tabla 4.3 siguiente se resumen las ecuaciones empleadas.

En donde el significado de cada variable corresponde al sector de interés:

Sector transporte: N , número de vehículos; km , kilometraje recorrido anual; RC , rendimiento del combustible; PC , poder calorífico del combustible. Los datos de la flota vehicular de la ZMCM, tipo de vehículo y combustible, se presentan en la tabla A.1 del anexo A y el poder calorífico de los combustibles empleados en la A.2. La información relativa al número de vehículos, kilometraje recorrido anual,

rendimiento de combustible y poder calorífico del combustible se obtuvieron de SETRAVI, IMP e INEGI.

Tabla 4.3 Ecuaciones para el cálculo de la actividad energética

SECTOR	ECUACIONES
Transporte	$A = \sum_m \sum_k N_{mk} * km_{mk} PC_{mk} / RC_{mk}$ $km_{mk} = km - diario_{mk} * días - año_{mk} * factor - holograma_{mk}$ $N_{mk} = PIB * CrecFlota_{mk} / PIB$
Industrial	$A = \sum_i \sum_j S_i * IE_{ij} * P$
Residencial	$A = N \sum_m \sum_k Cu_{mk} * S_{mk} * Ne_{mk}$
Comercial	$A = \sum_j IE_j * P$
Público	$A = (IE_{bombeo} * H) + (IE_{alumbrado} * V)$
Gobierno	$A = \sum_m \sum_j IE_{mj} * H$
Generación de energía eléctrica	$A = \sum_m \sum_n CE_{mn} \pm VCE_{mn}$

Sector industrial: S_i , participación de la rama industrial i ; P , producción total; IE , intensidad energética de la rama industrial i con el combustible j . Los datos de la participación de la rama industrial, la producción total y la intensidad energética se presentan en las tablas A.3 y A.4 del anexo A. La participación y la intensidad energética se obtuvieron en relación del PIB de la rama industrial y el PIB total industrial. La producción total se obtuvo de encuestas industriales y de los anuarios estadísticos del INEGI, mientras que la intensidad energética proviene del inventario de emisiones del INE.

Sector residencial: N , número total de viviendas; S , porcentaje de viviendas que cuentan con el tipo de tecnología m con un consumo energético k ; Cu , consumo unitario del equipo doméstico; Ne , número de equipos por vivienda. Todos estos datos se obtuvieron del INEGI de las encuestas nacionales de ingresos y gastos de los hogares (ENIGH) correspondientes a los años 1984, 1992, 1994, 1996 y 2000. El tipo de energéticos empleados por los equipos considerados se basaron

en varios trabajos experimentales¹, mientras que las características del equipamiento de las viviendas empleadas se presentan en la tabla A.5 del anexo A.

Sector comercial: IE , intensidad energética del combustible j y P , producción total. La información de este sector se obtuvo de los anuarios estadísticos del INEGI, de informes oficiales de PEMEX, de la Compañía de Luz y Fuerza del Centro, del Balance de Energía de la ZMCM 2000 y del Programa Universitario de Energía de la UNAM.

Sector público: V , número de viviendas y H , número de habitantes, obtenidos del INEGI. IE_{bombeo} , intensidad energética de bombeo de agua potable, drenaje, plantas de potabilización y tratamiento; $IE_{alumbrado}$, intensidad energética de alumbrado público de calles y avenidas. La información relativa al consumo eléctrico por bombeo de agua y el alumbrado público se obtuvo a partir de los reportes oficiales del Distrito Federal solamente.

Sector gobierno: IE , intensidad energética o relación de la energía producida con el energético j para el uso final m y H , número de habitantes; obtenidos de los reportes oficiales del Gobierno del Distrito Federal. Como transporte oficial se consideró todas las líneas del metro, trolebús y tren ligero; y para la iluminación todos los edificios del gobierno central, delegaciones y mercados; instalaciones deportivas, fuentes, semáforos, alumbrado decorativo de edificios históricos, monumentos y de fechas especiales.

Sector de generación de energía eléctrica: CE_{mn} , consumo de energía de la unidad m de la central n ; VCE_{mn} , variación en el consumo de energía debida a los factores de planta, eficiencia y demanda. Estos datos fueron proporcionados directamente por las centrales consideradas (Jorge Luque, Lechería, Nonoalco, Valle de México de Comisión Federal de Electricidad y Valle de México de Luz y Fuerza del Centro), en su reporte de la Cédula de Operación Anual (COA) y de los

¹ Friedman, 1993; Maser et al, 1991; Campero, 1991; De Buen, 1993; Schipper et al 1991; Sheinbaum et al, 1996 y Sheinbaum, 1996.

reportes oficiales de la Comisión Federal de Electricidad, la Compañía de Luz y Fuerza del Centro.

Sector de suelo de conservación: Se realizó una estimación preliminar del contenido de carbono de los bosques en suelos de conservación del Distrito Federal.

Para estimar el contenido de carbono almacenado en las áreas boscosas del Distrito Federal, se usó la siguiente función matemática:

$$CT = CV + CM$$

Donde:

CT = Carbono total

CV = Carbono contenido en la vegetación

CM = Carbono contenido en el mantillo

El carbono contenido en la vegetación depende del carbono contenido de la biomasa aérea y de la raíz, las que a su vez dependen del volumen total de árbol y de la raíz, densidad de la madera, de un factor de expansión y del contenido de carbono

Para el cálculo de las emisiones, los valores de biomasa se utilizaron junto con sus factores de oxidación, para obtener el carbono liberado. Con este valor junto con los factores de emisión, se determinaron las emisiones de CO₂.

Sector de residuos sólidos. Para el D.F., en el año 2000 se produjeron 4.2 millones de toneladas de residuos sólidos, de los cuales el 46% provino de viviendas, 29% de comercios, 15% de prestadores de servicios, 3% de giros especiales (unidades médicas, laboratorios, veterinarios, terminales terrestres, aeropuerto, vialidades y Ceresos) y 6% de otros (áreas verdes, objetos voluminosos, materiales de construcción y reparaciones menores). A partir de esta información se estimaron las emisiones correspondientes a este sector, despreciando las correspondientes a la zona conurbada del Estado de México.

Coeficientes de emisión (C_{jmk}). Los coeficientes o factores de emisión se tomaron del Manual de Referencia de las Directrices del IPCC. En estos coeficientes se supone que la emisión generada por un kWh consumido, depende de la infraestructura de generación. Como estos factores se emplean en otros de los inventarios de emisiones a analizar se presentaran al final de este capítulo.

Observaciones: Los puntos que se consideran más importantes de este inventario son:

- ☺ Este inventario presenta la información de tres gases de efecto invernadero CO₂, CH₄ y N₂O. Estas emisiones se presentan en Mton del GEI correspondiente o como CO₂eq. Además, incluye otros contaminantes de efecto local: HCT, CO, NO_x y PM₁₀.
- ☺ La información la presenta como dos inventarios de emisiones de GEI, uno para el Distrito Federal y otro para la ZMCM.
- ☺ Además de las estimaciones de GEI para el año 2000 que aquí se presentaron, basadas en el producto interno bruto (PIB) histórico reportado por INEGI para cada sector de la economía y subsector industrial; se realizaron proyecciones para los años 2001 al 2012. Para 2001, 2002 y 2003 se consideró un aumento anual del 1.5% de PIB. Para el resto de los años se elaboraron tres escenarios, en el escenario bajo se considero un aumento del PIB constante de 1.5% anual hasta el 2012; el escenario medio el incremento se supuso del 4.5% en el 2012; y para el escenario alto el aumento fue progresivo del 3.5% en el 2004 hasta el 7.5% para el 2012.
- ☺ Para los escenarios del 2002 al 2012 se aplicó la metodología de la Asociación de Técnicos y Profesionistas en Aplicación Energética, A.C. (ATPAE), cuyos coeficientes reflejan de una manera más puntual el comportamiento del sistema energético mexicano.
- ☺ Los inventarios elaborados, tanto el del 2000 como los demás escenarios propuestos, usaron metodologías “top-down” o “bottom-up”, para obtener información faltante; mientras que metodología por “usos finales” se empleó

cuando se tenía la información detallada del equipo y la tecnología empleada en cada sector.

- ☺ Los datos en cada tabla de este inventario son fáciles de verificar y reproducir ya que el reporte muestra las ecuaciones y variables necesarias para obtener las emisiones de cada sector. Además, separa la emisión de GEI debida a la quema de combustibles de aquella producida indirectamente por el consumo de energía eléctrica.
- ☺ Para el sector de residuos sólidos y suelos de conservación, el inventario de emisiones de GEI sólo contabiliza las emisiones originadas en el DF, debido a que sólo se dispone de información para esa zona.
- ☺ Para el caso de residuos sólidos el inventario no especifica el proceso de manejo de estos residuos, lo cual es de importancia si se considera que el metano puede o no ser captado en un relleno sanitario.
- ☺ Parte de la información del sector público y toda la información del sector gobierno, no incluyen datos del Estado de México, por lo cual la emisión de este sector para la ZMCM está subestimada.
- ☺ Finalmente, debe mencionarse que las emisiones debidas al sector agropecuario no son explícitamente consideradas, sólo se indican algunas características de los suelos de conservación (extensión de áreas de deforestación, extensión cubierta por diferentes tipos de árboles y los tipos ganado existente).

4.1.2 Actualización y desarrollo metodológico del balance de energía

El Programa Universitario de Energía de la UNAM ha elaborado balances de energía para los años 1996, 2000, 2001 y 2003 y a partir de estos balances se estimaron las emisiones de CO₂ para el 2000 y 2001 (publicadas en el mismo documento: Bazán, 2003), mientras que las emisiones correspondientes al 2003 fueron publicados en Bazán (2004). En la tabla 4.4, se presentan las emisiones totales y por sector para estos tres años de estimaciones.

Tabla 4.4 Emisiones de CO₂ en la ZMCM²

SECTOR	EMISIONES CO ₂ (MTON)		
	2000	2001	2003
Electricidad ¹	16.7	16.8	17.7
Industrial	6.5	6.3	6.8
Transporte	20.3	21.4	21.4
Residencial y otros	4.8	5.2	5.7
Total	48.3	49.7	51.6

¹ Energía eléctrica que se produce en la ZMCM y la que proviene de otras regiones.

Fuente: Los años 2000 y 2001 de Bazán (2003) y los datos del 2003 de Bazán (2004).

En la tabla anterior se presentan las emisiones directas por sector; sin embargo, la forma de presentación de los datos en este inventario permite distinguir entre las emisiones directamente producidas por la quema de combustible de cada sector, de aquellas que se le pueden adjudicar al consumo de energía eléctrica de dicho sector. Esto es, dividir proporcionalmente la emisión del sector Electricidad entre todos los sectores que se benefician con la energía eléctrica producida. La siguiente tabla, 4.5, muestra las Mton directas, indirectas y totales de CO₂ emitidas en 2000, 2001 y 2003 por sector.

Para calcular las emisiones de GEI se utilizó la siguiente ecuación:

$$Emisiones = \sum Actividad_{abc} * FE_{abc}$$

Las emisiones totales de GEI se calculan en Mton/año y dependen de la *Actividad_{abc}* en GJ que se realiza empleando el tipo de combustible *a*, dentro del sector *b*, con la tecnología *c*. *FE* es el factor de emisión asociado a las condiciones *abc*.

La metodología utilizada es tipo “bottom-up”, ya que se tomaron como base los datos sobre el consumo de combustibles por sector económico (servicios públicos, requerimientos residenciales, comerciales, agrícolas, transformación de energía y transporte) y mediante la suma de valores parciales se estima el gran total.

² La metodología de estimación para el año 2003 no se presenta en la publicación de Bazán (2004); sin embargo, en entrevista con el autor, éste señala que fue la misma que para años anteriores (Bazán, 2007).

Tabla 4.5 Emisiones directas e indirectas de CO₂ para la ZMCM (Mton/año)

Sectores	2000			2001			2003		
	ET	EI	ED	ET	EI	ED	ET	EI	ED
Electricidad	3.2	3.2	0 ¹	3.2	3.2	0 ¹	3.5	3.5	0 ¹
Industrial	14.0	7.5	6.5	13.4	7.1	6.3	14.4	7.6	6.8
Transporte	20.3	0 ²	20.3	21.4 ³	0 ²	21.4	21.4 ³	0.5 ²	21.4
Residencial	8.0	6	4.8	8.5	6.6	5.2	10	6.6	5.7
Comercial, público y agropecuario	2.8			3.3			2.3		
Total	48.3	16.7	31.6	49.7	16.9	32.9	51.6³	18.2	33.9

ET: Emisiones totales, generadas por el consumo de electricidad y las propias del sector.

EI: Emisiones indirectas, provocadas por el consumo de energía eléctrica del sector.

ED: Emisiones directas, provocadas por la quema de combustible propias del sector.

1 La emisión directa del sector eléctrico ha sido distribuida como emisión indirecta de los otros sectores
 2 Para los años 2000 y 2001 no se considera el uso de energía eléctrica por el sector transporte (se excluye metro, tren ligero y trolebús); para el año 2003 aparece un consumo eléctrico del transporte de 0.5 Mton/año, pero el documento original no especifica su procedencia.

3 En el documento original aparece: para el año 2001, 20.3 Mton/año en lugar de 21.4; para el 2003, 21.9 Mton/año en vez de 21.4, y la suma total de 51.6 y no 52.1, lo que arrojaría la suma aritmética.

Fuente: Los años 2000 y 2001 de Bazán (2003) y los datos del 2003 de Bazán (2004).

Actividad_{abc}: La figura 4.1 presenta los flujos de energía de la ZMCM para el 2001, desglosando las aportaciones, distribución y consumos. A pesar de no disponer del balance desglosado para el 2003, se presume que proporcionalmente no varía mucho del que aquí se presenta. La actividad energética (consumo de energía) por sector para éste año se presenta en la tabla 4.6, donde se puede observar que el consumo de energía del sector transporte es casi la mitad del total, 45%; lo que describe el tipo de metrópolis en la que habitamos.

Tabla 4.6. Actividad energética por sector para la ZMCM, 2001

SECTOR	CONSUMO ENERGÉTICO (Pj)
Energético	56.200
Transporte	307.482
Industrial	150.326
Residencial, comercial y público	163.365
Agropecuario	1.092
Total	678.465

Fuente: Adaptación libre de Bazán, 2003

Sector transporte. Los combustibles relacionados con este sector son la gasolina, diesel y gas natural.

Sector industrial. Se trabajó con 16 ramas de la industria: siderúrgica, petroquímica, química, azúcar, cemento, minería, celulosa y papel, vidrio,

fertilizantes, cerveza y malta, automotriz, aguas envasadas, construcción, aluminio, hule y tabaco.

Sector residencial. La demanda principal de energía es para cocción de alimentos, calentamiento de agua, calefacción, iluminación y planchado. El consumo de energía para éste sector se encuentra en 107.702 PJ en el 2001.

Sector comercial. La demanda principal de energía se da en locales comerciales, restaurantes y hoteles. El consumo para 2001 fue de 47.857 PJ.

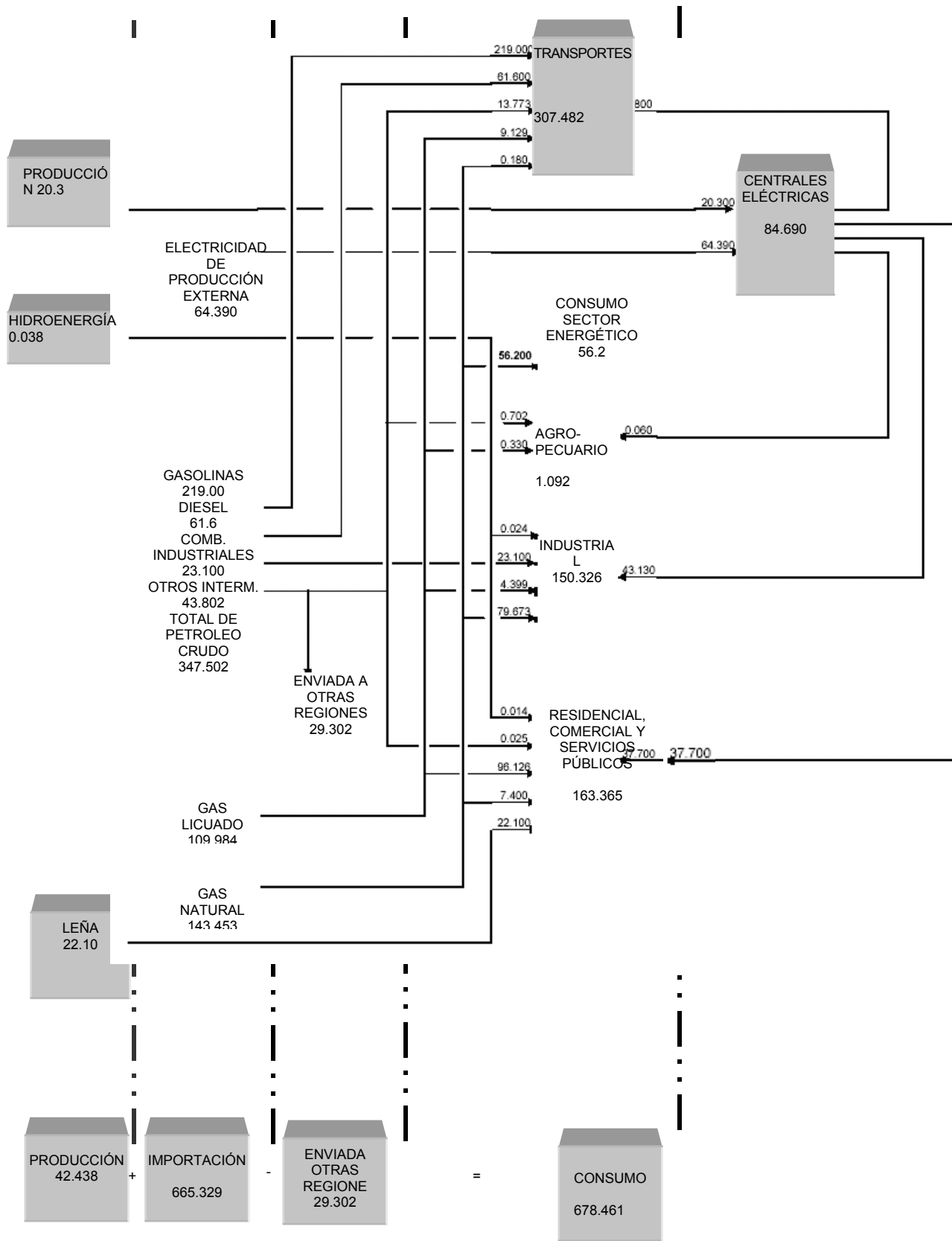
Sector público. Para éste inventario se incluye sólo el consumo de energía en el alumbrado público y bombeo de agua.

Sector agropecuario. Se toma en cuenta la energía consumida para desempeñar actividades como el bombeo de agua para riego y los combustibles para maquinaria agrícola y ganadería mecanizada.

Sector de generación de energía eléctrica. Se consideran seis plantas de generación, cuyos nombres y capacidades se presentan en la tabla B.1 del anexo B.

Figura 4.1 Balance de energía de la ZMCM, 2000

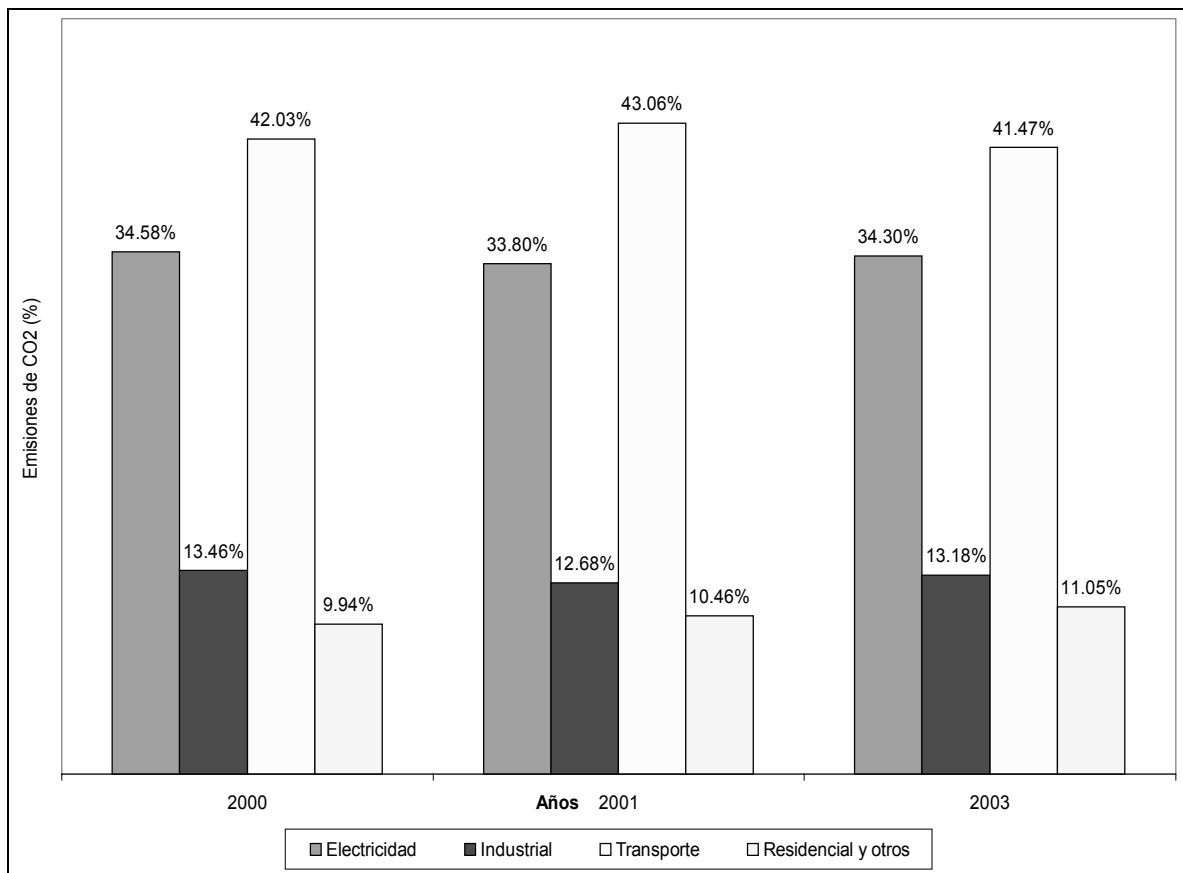
Emisiones de CO₂ en la ZMCM



Fuente: Bazán, 2003

Se aprecian las emisiones de CO₂ para los años 2000, 2001 y 2003 en la figura 4.2 siguiente.

Figura 4.2 Emisiones de CO₂ en la ZMCM 2000, 2001 y 2003



Fuente: Adaptación libre Bazán (2003) y Bazán (2004).

Factores de emisión, EF_{abc} : Los factores de emisión utilizados fueron los del IPCC y se discutirán al final del capítulo.

Observaciones: Sobre este inventario y las metodologías empleadas es importante destacar:

- ☺ El presente inventario proporciona emisiones de otros gases de efecto invernadero que son metano y óxido nitroso.
- ☺ Presenta además balances energéticos para 1996 y 1998, los cuales no se analizaron aquí porque no incluyen la estimación de emisiones de CO₂.

- ☺ Proporciona las emisiones directas, indirectas y totales de CO₂ para cada sector, lo cual permite discriminar entre los diferentes sectores y decidir sobre cual de ellos debe tenerse más control.
- ☺ Considera diez diferentes combustibles: bagazo de caña, leña, coque y carbón, gas licuado, gasolinas, diesel, combustóleo, querosenos y gas natural. Destacando la importante contribución de la leña (22.1 PJ).
- ☺ La estimación para el sector residencial se calcula a partir de “uso final” y considera: la cocción de alimentos, calentamiento de agua, calefacción, iluminación y planchado.
- ☺ El sector público sólo considera alumbrado público y en el bombeo de agua, excluyendo otras actividades de importancia como plantas de tratamiento de aguas residuales, alumbrado de áreas comunes de viviendas de seguridad social.
- ☺ La estimación de emisiones del sector agropecuario incluye a la actividad forestal, la agrícola y ganadera, pero no se especifica la inclusión de suelos de conservación.
- ☺ Para el sector transporte (ver tabla 4.5) no se consideran las emisiones indirectas para los años 2000 y 2001, bien porque se excluye el transporte colectivo Metro, el tren ligero y los trolebuses o por haber sido considerados estos dentro de los servicios públicos. Este tipo de imprecisiones dificultan el manejo de la información.
- ☺ Finalmente, en el documento original se encontraron algunos datos difíciles de interpretar (ver nota 2 y 3 en la tabla 4.5), cuya aceptación o rechazo requirieron largas horas de análisis y restan confiabilidad al estudio.

4.1.3 Inventario de emisiones de GEI asociadas con la producción y uso de la energía en la ZMCM

Elaborado por el Grupo de Energía y Ambiente del Instituto de Ingeniería de la UNAM, el objetivo fue desarrollar un inventario directamente asociado con el uso de energía en 1996 (Grupo de Energía y Ambiente, 2000).

Para la realización de este inventario se consultó un número importante de fuentes de información (ver tabla C.1 del anexo C). En la tabla 4.7 se presentan las emisiones de CO₂ para todos los sectores y combustibles considerados.

El total del presente inventario se calculó sin considerar las emisiones por el uso de leña en el sector residencial, debido a que la diferencia entre el consumo de leña reportado por el Programa Universitario de Energía de la UNAM y la encuesta nacional ingreso/gasto del INEGI de 1996 es significativa. De tal manera que el grupo de trabajo del Instituto de Ingeniería recomienda desarrollar más estudios al respecto.

De la tabla 4.7 podemos observar que el sector transporte representa el 43.2% de las emisiones de CO₂, la industria el 30.9 y el sector residencial sólo el 19.8%. Además, las emisiones de este gas para 1996 en la ZMCM representaron cerca del 13% de las emisiones nacionales (Molina y Molina, 2005).

Para el cálculo de las emisiones totales, ET_i , se utilizó la siguiente ecuación:

$$ET_i = \sum \sum \sum A_{kjm} * C_{ikjm}$$

Las emisiones totales se calcularon en Mt/año. Éste depende de la actividad energética A del sector j utilizando la tecnología m para el combustible k , así como del coeficiente de emisión C_{ikjm} del GEI i asociada a kjm . Las consideraciones realizadas en este inventario para los siete sectores fuentes de emisión son:

Tabla 4.7 Emisiones de CO₂ de la ZMCM durante 1996

SECTOR	FUENTE DE ENERGÍA	EMISIONES CO ₂ (MTON)	
		SUBTOTAL	TOTAL
Residencial	leña ¹	0.277	9.047 ²
	gas licuado	5.220	
	kerosina	0.001	
	gas natural	0.120	
	energía eléctrica	3.703	
Comercial	gas licuado	0.271	1.885
	gas natural	0.082	
	energía eléctrica	1.532	
Público	energía eléctrica	0.744	0.744
Transporte	gas licuado	0.668	19.719
	gasolina	14.365	
	turbosina	0.897	
	diesel	3.214	
	energía eléctrica	0.564	
Agropecuario	gas licuado	0.019	0.075
	kerosina	0.047	
	energía eléctrica	0.009	
Industrial	coque	0.004	14.125
	gas licuado	0.526	
	petróleo diáfano	0.006	
	gasolinas	0.001	
	diesel normal	1.175	
	diesel centrifugado	0.011	
	diesel especial	0.014	
	gasóleo	0.442	
	combustóleo pesado	0.199	
	combustóleo ligero	0.357	
	gas natural	4.339	
	energía eléctrica	7.052	
Generación eléctrica	gas natural	2.707	2.87 ³
	combustóleo pesado	0.164	
Total			45.585

1. Datos proporcionados por el INEGI

2. Sin tomar en cuenta la emisión de la leña

3. Ésta cantidad no se suma al total ya que las emisiones por consumo de energía eléctrica se consideran dentro de cada sector.

Fuente: Adaptación libre de Grupo de Energía y Ambiente (2000)

Sector industrial. Las ramas consideradas son: minería, siderurgia, química (química básica, fertilizantes, hule, resinas sintéticas, plásticos, farmacéutica, jabones, detergentes y cosméticos, otras industrias químicas), celulosa y papel (incluye imprentas y editoriales), minerales no metálicos (cemento, vidrio, otras), metales no ferrosos (aluminio, cobre, otros), productos alimenticios, bebidas y tabaco (cerveza y malta, aguas envasadas, tabaco, otras), industria textil, madera

y productos de madera, maquinaria, equipo de transporte (industria automotriz, otros) y otras ramas no especificadas. La producción de químicos es la rama industrial con mayores emisiones, seguido por productos alimenticios y minerales no metálicos (ver tabla 4.8).

Tabla 4.8 Emisiones de CO₂ de la industria, 1996

INDUSTRIA	EMISIONES CO ₂ (MTON)
Minería	0.001
Siderúrgica	0.168
Química	1.618
Celulosa y papel	0.755
Minerales no metálicos	0.808
Metales no ferrosos	0.609
Productos alimenticios, bebidas y tabaco	1.001
Textil	0.719
Madera y productos de madera	0.047
Maquinaria	0.449
Equipo de transporte	0.159
Otros	0.013
Otros-ajuste ¹	0.672
Total	7.021

¹ Ajuste para eliminar diferencias entre fuentes de información

Fuente: Grupo de Energía y Ambiente (2000)

Para la obtención de esta información se modificó la base de datos de consumo de energía para más de 3,000 industrias del INE (Datgen.dbf de 1996), se incluyeron los datos del Balance de energía de 1996 del PUE; y el resultado se comparó con la información proveniente de la Comisión Ambiental Metropolitana de la Secretaría del Medio Ambiente del Distrito Federal (CAM), Metrogas (empresa encargada de la distribución de gas natural a partir de 1999) y Tuvrhenland (empresa consultora que realizó estimaciones del uso de gas licuado). Debido a que se encontraron inconsistencias en el consumo de gas natural (18 PJ), se estimaron emisiones que no se atribuyen a ninguna industria y se reportan como “otros-ajuste” (ver tabla 4.8).

Las emisiones de este sector están relacionadas con el consumo de diversos combustibles (ver tabla 4.9), de entre los cuales el gas natural es el que más se consume, seguido por el diesel normal y el gas licuado.

Tabla 4.9. Consumo de energía del sector industrial en la ZMCM, 1996

Combustible	PJ
Coque	0.038
Gas licuado	8.343
Petróleo diáfano	0.080
Gasolinas	0.006
Diesel normal	15.862
Diesel centrifugado	0.146
Diesel especial	0.195
Gasóleo	5.969
Combustóleo pesado	2.576
Combustóleo ligero	4.611
Gas natural	77.345

Fuente: Grupo de Energía y Ambiente (2000)

Sector residencial. Las principales actividades consideradas son cocción de alimentos y calentamiento. El total de combustibles empleados para esto y la emisión de CO₂ asociada, se presentan en la tabla 4.10 (el consumo de electricidad no se incluye).

Tabla 4.10 Emisiones de CO₂ del sector residencial considerando cocción y calentamiento, 1996

Combustible	Energía (PJ)	Emisiones CO ₂ (MTON)
Gas licuado	82.8	5.22
Gas natural	2.1	0.13
Leña	2.5	N.C.
Total	87.4	5.35

N.C. No considerado debido a la discrepancia en datos de consumo

Fuente: Grupo de Energía y Ambiente (2000)

Sector público. Para este sector sólo se reportan emisiones relacionadas con el consumo de energía eléctrica, y de estas sólo las correspondientes a la iluminación pública y el bombeo de aguas negras y potables. La información utilizada proviene de la Comisión Federal de Electricidad y del INEGI.

Sector comercial. Las emisiones de este sector se calcularon a partir del *Balance de energía de la ZMCM* que elaboró para 1996 el Programa Universitario de Energía (PUE) de la propia UNAM. En ese balance se reportan la energía de los sectores residencial, público y comercial como uno sólo, por lo que el Grupo de

Energía y Ambiente resta los valores calculados por ellos de consumo de energía para el sector residencial y el público, para obtener el del comercial.

Sector transporte. Las emisiones de CO₂ del autotransporte se pueden observar en la tabla 4.11. Para obtenerla se consideró: tipo de combustible, flota vehicular, tecnología, distancia recorrida y kilometraje. Se emplearon como base el estudio realizado por Sheinbaum y colaboradores (1999) y la información disponible de CAM y COMETRAVI, y posteriormente se completó con el Balance de Energía para 1996 del PUE.

Tabla 4.11 Emisiones de CO₂ del autotransporte, 1996

Tipo de transporte	Combustible	Poder calorífico	Emisiones CO ₂ (MTON)
Particulares	gasolina	33,094.34 MJ/m ³	6,815
Taxis			1,645
Microbuses			1,872
Pick up			354
Carga ligera			3,680
Ruta 100	diesel	5,993.711 MJ/m ³	28
Autobuses			53
Carga mediana y pesada			553
Carga de más de dos ejes			2,441
Camiones y camionetas	gas licuado	26.1 MJ/lt	668
Total			17,753

Fuente: Grupo de Energía y Ambiente (2000)

Sector agropecuario. Fueron utilizados los datos de 1996 del balance de energía del PUE y a partir de ese dato se estimó la emisión correspondiente.

Generación y consumo de electricidad. El consumo de electricidad de la ZMCM representa el 17.3% del nacional, pero la mayor parte no se genera en la región. Las plantas de generación consideradas en este inventario son Jorge Luque, Lechería, Nonoalco, Valle de México de CFE y Valle de México de la Cía. de Luz y Fuerza.

Coeficientes de emisión (C_{kjm}). Al igual que en otros inventarios, los coeficientes o factores de emisión se tomaron del IPCC y por lo tanto serán discutidos por separado al final del capítulo. Los factores de emisión para el sector transporte se

tomaron de la EPA, mientras que para todos lo demás sectores se consideran coeficientes de emisión del IPCC.

Observaciones: Como para los inventarios anteriores, aquí se incluyen las principales características de este estudio.

- ☺ El presente inventario proporciona emisiones de otros gases de efecto invernadero, metano y óxido nitroso, además de: CO, NO_x, SO₂, COV y PM10.
- ☺ Considera una amplia variedad de combustibles: coque, gas natural, gas licuado, petróleo diáfano, gasolina, diesel normal, diesel centrifugado, diesel especial, gasóleo, combustóleo pesado y ligero.
- ☺ Este inventario no considera las emisiones GEI provenientes de rellenos sanitarios.
- ☺ El inventario incluye datos tomados directamente de otras fuentes (principalmente del estudio del Programa Universitario de Energía).
- ☺ El inventario no muestra las ecuaciones específicas usadas para el cálculo de la actividad energética específica de cada sector que permita al lector reproducir las estimaciones de CO₂.
- ☺ Para el *sector residencial*, no se estimó la emisión relacionada con el consumo de leña, mostrando así las deficiencias de la información disponible.

4.1.4 PROAIRE

El programa PROAIRE surge de la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA). Su principal objetivo es generar programas para mejorar la calidad del aire en las principales ciudades del país, creando herramientas para la evaluación, control, prevención y seguimiento de las emisiones contaminantes. Las medidas propuestas por PROAIRE se presentan en la tabla E.1 del anexo E (SEMARNAT, 2002). De sus 89 medidas, 38 corresponden al transporte y aunque ninguna es específicamente para reducir los

GEI, es obvio que al mejorar la infraestructura vial y el transporte colectivo el CO₂ se reducirá.

La información empleada, como línea base para la elaboración de este programa proviene de:

- Sistema de Monitoreo Atmosférico de la ZMCM, SIMAT.
- Inventario de Emisiones 1998

El SIMAT puede ser consultado *en línea* en: www.sma.df.gob.mx/simat, forma parte del Sistema Nacional de Información de la Calidad del Aire (SINAICA) y está integrado por cinco redes operativas y una unidad móvil, cuyas características (número de estaciones y parámetros monitoreados) se presentan en la tabla 4.12.

Tabla 4.12 Descripción del Sistema de Monitoreo Atmosférico de la ZMCM

	RAMA	REDMA	REDDA	REDMET	REDRAS	UNIDAD MÓVIL
Número de estaciones	32 21 en el DF y 11 en el Edo de México	13	16	10	8	1
Parámetros que mide	<ul style="list-style-type: none"> • Ozono • PM10 • Monóxido de carbono • Bióxido de azufre • Óxidos de nitrógeno 	<ul style="list-style-type: none"> • PM10 • PST 	<ul style="list-style-type: none"> • Sulfatos • Nitratos • pH • Aniones • Cationes 	<ul style="list-style-type: none"> • Velocidad y dirección del viento • Humedad relativa • Temperatura • Perfiles del viento en la troposfera baja • Gradiente térmico 	<ul style="list-style-type: none"> • Radiación ultravioleta • Radiación global total • Actividad fotosintética 	<ul style="list-style-type: none"> • Ozono • PM10 • CO • SO₂ • NO_x • Velocidad y dirección del viento. • Humedad relativa • Temperatura

RAMA: Red Automática de Monitoreo Atmosférico

REDMA: Red Manual de Monitoreo Atmosférico

REDDA: Red de Depósito Atmosférica; determina la acidez de la lluvia

REDMET: Red Meteorológica

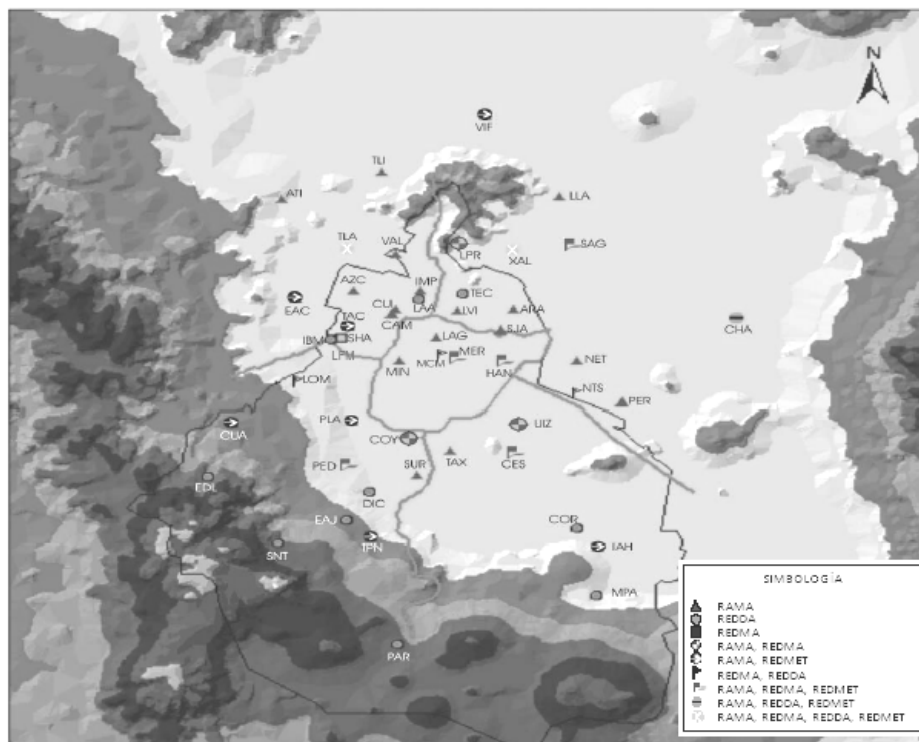
REDRAS: Red de Radiación Solar; determina penetración de ondas ultravioletas

Fuente: SMA, 2002

La ubicación de las estaciones del SIMAT, se presentan en la figura 4.3, siendo importante mencionar que con base en los datos de la RAMA, el Gobierno de la Ciudad de México, emite diariamente un reporte sobre la calidad del aire en la forma del Índice Metropolitano de la Calidad del Aire (IMECA).

El sistema de monitoreo atmosférico mide parámetros de afectación local y por lo tanto no incluye los GEI y queda fuera de los alcances de este estudio. Sin embargo la información de este sistema se complementa con la del Inventario de Emisiones 1998, que se presenta a continuación.

Figura 4.3 Sistema de Monitoreo Atmosférico de la Ciudad de México (2006)



Fuente: INE, 2000.

4.1.4.1 Inventario de emisiones 1998

El primer inventario de emisiones detallado, incluyendo las emisiones de CH₄ y CO₂, para la ZMCM se realizó en el año de 1998 y sirvió de base para desarrollar el Proaire 2002-2010 vigente. Este inventario fue elaborado por la Secretaría del Medio Ambiente del Distrito Federal (SMA), la Secretaría de Ecología del Estado de México, la SEMARNAT, y coordinado por la CAM (SMA, 2002).

En la tabla 4.13 se presentan los resultados de este inventario para CO₂, incluyendo dos posibles valores, los primeros calculados con los factores de emisión del panel intergubernamental de cambio climático (IPCC) y los segundos con los factores de la agencia de protección al ambiente de estados unidos (EPA).

Las estimaciones se basaron en la metodología del *Inventario de emisiones de GEI asociados a la producción y uso de energía en la ZMCM* del Grupo de Energía y Ambiente del Instituto de Ingeniería de la UNAM (ver sección 4.1.3). Los sectores considerados son: industrial, transporte, residencial/comercial y rellenos sanitarios.

Se puede observar que la máxima emisión de CO₂ para el sector transporte está directamente asociada al uso de gasolinas, y las del sector residencial/comercial con el gas natural seguida del uso de gas LP.

Tabla 4.13 Emisiones de CO₂ en la ZMCM, 1998

SECTOR	COMBUSTIBLE	EMISIONES CO ₂ (MTON)	
		IPCC	EPA
Industrial	gas natural	10.57	9.37
	gas licuado	0.25	0.24
	gasóleo doméstico	0.08	0.07
	combustible industrial	1.17	1.12
	diesel ind. bajo azufre	0.66	0.639
	Subtotal	12.73	11.439
Residencial/comercial	gas natural	0.11	0.1
	gas licuado	4.97	4.73
	Subtotal	5.08	4.83
Transporte	gasolina	14.84	...
	diesel	4.29	...
	gas licuado	0.6	...
	Subtotal	19.73	...
Rellenos sanitarios			0.47
Total		37.54	16.73

Fuente: SMA, 2002.

Actividad energética (A_{kjm}). En la tabla 4.14 se muestran los valores de actividad energética tomados para este inventario.

Sector industrial. Éste estudio contempla las siguientes industrias de competencia local y federal: minería; siderúrgica; química; minerales no metálicos; minerales no

ferrosos; productos alimenticios, bebidas y tabacos; productos vegetales y animales; madera y productos de madera; productos de vida media; productos de vida larga; productos de consumo varios; productos impresos; productos metálicos; y otras industrias.

Tabla 4.14 Consumo energético por sector y tipo de combustible

COMBUSTIBLE	CONSUMO ENERGÉTICO (PJ)		
	Transporte	Industria	Residencial/comercial
gasolina	0.214173		
PEMEX diesel	0.057		
gas licuado	0.009	0.004	0.078
gas natural		0.188	0.002
gasóleo doméstico		0.111	
combustible industrial		0.015	
diesel ind. bajo azufre		0.008	
Total	0.281	0.216	0.08

Fuente: Adaptación libre de SMA, 2002.

Sector transporte. Se consideran los siguientes vehículos: autos particulares, taxis, combis, microbuses, pick ups, camiones de carga a gasolina, vehículos a diesel > 3 ton, tractocamiones a diesel, autobuses a diesel, vehículos a diesel < 3 ton, camiones de carga a gas LP y motocicletas.

Coefficientes de emisión (C_{jmk}). Este inventario empleó factores de emisión del IPCC y de la EPA, que se presentarán y discutirán posteriormente.

Observaciones: Las observaciones principales para este inventario son:

- ☺ Hace una segregación más amplia de las industrias, que otros inventarios.
- ☺ Además de CO₂ considera las emisiones de metano y los siguientes contaminantes locales: PM10, bióxido de azufre, monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno e hidrocarburos totales.
- ☺ No incluye las emisiones indirectas de CO₂ (por el consumo de energía eléctrica), a pesar de que el estudio del Grupo de Energía y Medio Ambiente, que tomó como base, si lo hace.
- ☺ No considera las emisiones de óxido nitroso.

- ☺ Este inventario se enfoca en los siguientes combustibles: gas natural, gas licuado, combustóleo ligero, combustóleo pesado, diesel, gasóleo y petróleo diáfano.
- ☺ El inventario no incluye las emisiones generadas por el sector de generación de energía eléctrica ni las del sector público.

4.1.5 Inventarios de emisiones de la ZMCM 2000, 2002 y 2004

Presenta información desagregada por sector y por contaminante (SMA, 2007b). Los inventarios para los años 2000 y 2002 se desarrollaron a partir de la metodología del *Grupo de Energía y Ambiente* (ver 4.1.3). La tabla 4.15 siguiente presenta los datos para los tres años disponibles, y en la figura 4.4 se pueden observar de manera gráfica las emisiones para los años 2002 y 2004.

Tabla 4.15 Energía consumida y emisiones de CO₂, 2000, 2002 y 2004

SECTOR	COMBUSTIBLE	EMISIONES DE CO ₂ (MTON/AÑO)		
		2000	2002	2004
Transporte	gasolina premium	15.40	1.98	13.13
	gasolina magna		13.61	2.21
	diesel	4.32	4.34	4.68
	gas natural	0.009	0.036	0.058
	gas LP	0.39	0.41	0.391
	Subtotal	20.13	20.4	20.48
Industria	diesel Ind. de bajo azufre	0.90	0.708	0.72
	gas natural	9.18	9.96	9.46
	gas LP	2.16	1.1	0.37
	Subtotal	12.63	11.77	10.56
Residencial/comercial	gas natural	0.44	0.229	0.37
	gas LP	3.13	2.16	2.88
	Subtotal	3.58	2.39	3.25
Servicios públicos	gasóleo doméstico		0.001	0.0006
	gas natural		0.067	0.039
	gas LP		0.862	0.84
	Subtotal		0.930	1.49
Rellenos Sanitarios		0.47	0.417	0.612
Total		36.82	35.907	36.392

Fuente: Adaptado de SMA (2005) y SMA (2007b).

Se emplearon la misma metodología y factores de emisión que el Inventario 1998 y por lo tanto el *Inventario de emisiones de GEI asociados a la producción y uso de energía en la ZMCM* del Grupo de Energía y Ambiente del Instituto de

Ingeniería de la UNAM (ver secciones 4.1.3 y 4.1.4.1), con las variantes que se mencionan a continuación:

El *sector transporte* tomó en cuenta: autos particulares, taxis, combis, microbuses, pick ups, vehículos menores y mayores de tres toneladas, tractocamiones, autobuses, y motocicletas.

Para el *sector industrial* se consideraron: productos alimenticios, bebidas y tabaco; textiles, prendas de vestir e industria del cuero; industria de la madera y productos de madera, incluye muebles; papel y productos de papel, imprentas y editoriales; sustancias químicas, productos derivados del petróleo y del carbón, de hule y de plástico; productos minerales no metálicos, excluye los derivados del petróleo y del carbón; industrias metálicas básicas; productos metálicos, maquinaria y equipo, incluye instrumentos quirúrgicos y de precisión; otras industrias manufactureras; y generación de energía eléctrica.

Coefficientes de emisión. Los coeficientes o factores de emisión se tomaron del Manual de Referencia de las Directrices del IPCC se presentan al final del capítulo. Para la generación de residuos sólidos se utilizó el programa LANDFILL de la EPA, por lo cual, se considera que este estudio también considera sus factores de emisión.

Observaciones:

- ☺ El inventario 2004 considera los siguientes contaminantes: bióxido de azufre, óxidos de nitrógeno, compuestos orgánicos volátiles, metano, PM2.5, amoníaco y bióxido de carbono.
- ☺ Las emisiones para el sector residencial/comercial se reportan unidas, lo que implica una desventaja para conocer la contribución real por sector.
- ☺ Las emisiones totales estimadas para los años 2002 y 2004 no incluyen los rellenos sanitarios; sin embargo, el inventario del 2000 si los considera en el

total de emisiones estimadas. En contraparte, no considera el sector de servicios públicos.

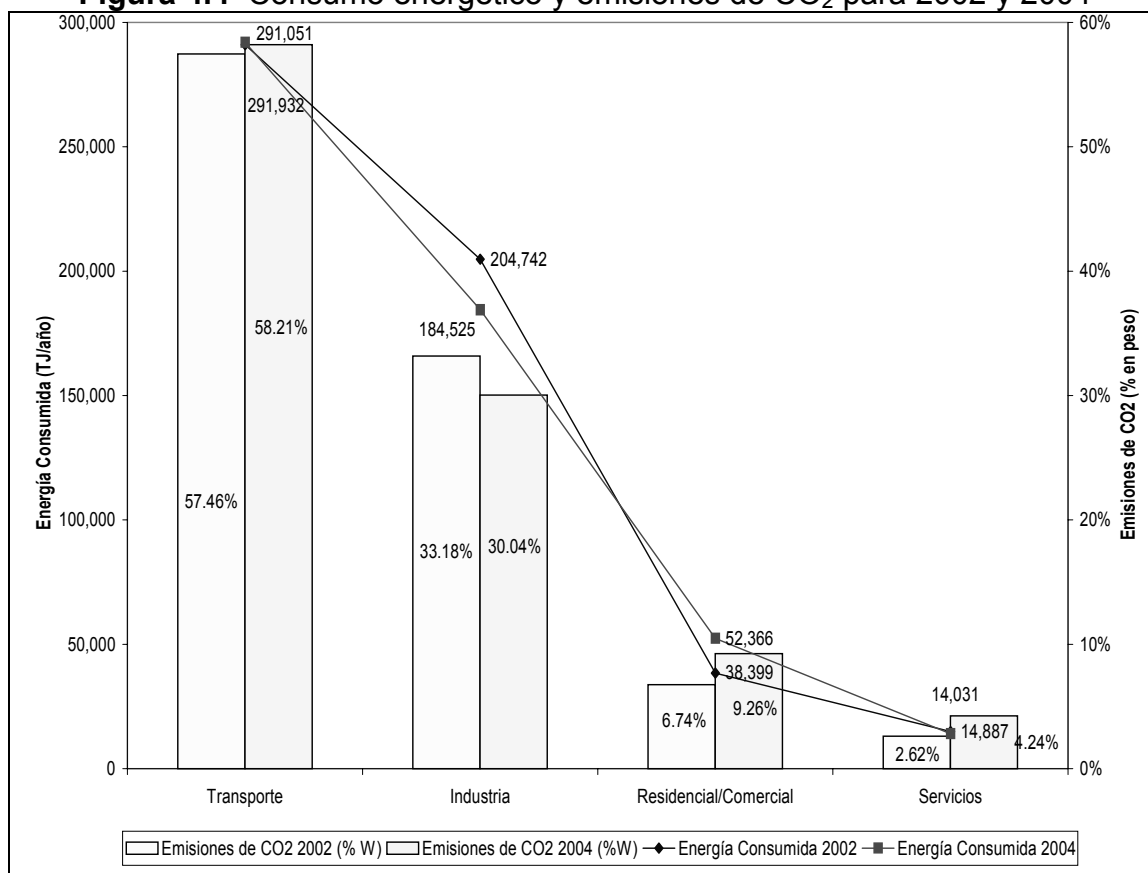
- ☺ Es extraño que el presente inventario no haga estimaciones de energía eléctrica, siendo que el estudio que considera como base si las incluye.
- ☺ De acuerdo al último inventario, 2004, las emisiones de CO₂ para el sector transporte han aumentado en un 0.75% desde el 2002; mientras que para el sector industrial decrecieron un 3.14%, las del sector residencial/comercial aumentaron un 2.52%, y las del sector público en 1.62%.
- ☺ Para el caso de las emisiones de rellenos sanitarios para el 2002 y 2004 los valores se tomaron de la tabla en la que aparecen las contribuciones particulares de cada relleno de la ZMCM (ver tabla 4.16).

Tabla 4.16 Emisiones de CO₂ para los rellenos sanitarios de la ZMCM

SITIOS DE DISPOSICIÓN	EMISIONES CO ₂ (MTON/AÑO)	
	2002	2004
Prados de la Montaña	0.048	0.043
Bordo Poniente	0.230	0.449
Santa Catarina	0.138	0.12
Total	0.417	0.612

Fuente: SMA, 2007b.

En la figura 4.4 se pueden observar de manera gráfica las emisiones de CO₂ para los años 2002 y 2004, estimadas por este inventario.

Figura 4.4 Consumo energético y emisiones de CO₂ para 2002 y 2004

Fuente: Adaptación libre SMA, 2007b.

4.2 Estudios relacionados

Los estudios que se mencionan a continuación no fueron realizados exclusivamente para la ZMCM, pero dentro de sus resultados aparecen datos de esta zona, por lo que se decidió analizarlos como se ha hecho para los inventarios específicos. Estos estudios son:

- Sistema integrado de regulación directa y gestión ambiental de la industria
- Campaña MILAGRO
- Programa GEI México
- Proyecto inventario nacional de emisiones
- Estrategia nacional de cambio climático

A continuación se revisa brevemente cada uno de estos estudios, haciendo hincapié en los datos de emisión de CO₂.

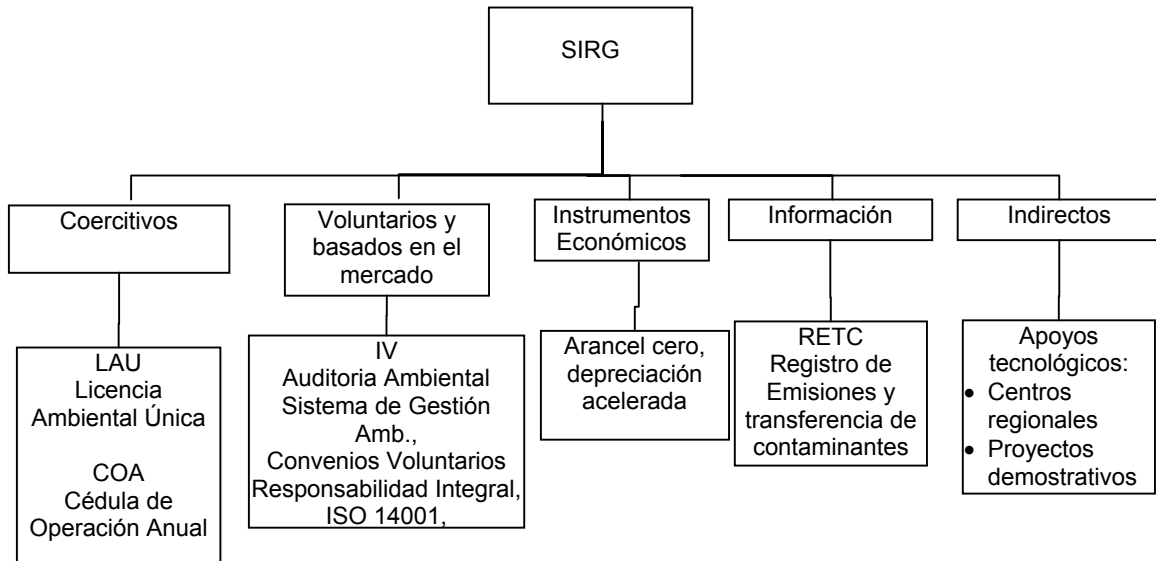
4.2.1 Sistema integrado de regulación directa y gestión ambiental de la industria

En 1995, por iniciativa del Instituto Nacional de Ecología, se creó el *Sistema integrado de regulación y gestión ambiental de la industria* (SIRG), que se compone de varios instrumentos de gestión para agilizar la legislación industrial en materia de ambiente (SEMARNAT, 2005). La figura 4.5 muestra el diseño conceptual del SIRG, siendo importante que tres de sus instrumentos, LAU (licencia ambiental única), COA (cédula de operación anual) y los IV (instrumentos voluntarios), son los más evolucionados y mejor aceptados por la industria.

La LAU entró en vigor en 1997 e integra todos los permisos ambientales de una empresa. A través de ella los establecimientos industriales pueden presentar su manifestación de impacto ambiental, estudios de riesgo y permisos para descarga de aguas residuales, manifiestos como generador de residuos peligrosos y emisiones a la atmósfera. Esta licencia se emite una única vez por cada establecimiento industrial y sólo debe renovarse en caso de cambio de localización, cambios en procesos o tecnologías, o en el giro industrial para el que fue autorizado.

Aquellos establecimientos que cuenten con la LAU deberán presentar un informe anual denominado *Cédula de operación anual*, que incluye el reporte de emisiones de CO₂, otros gases de efecto invernadero, así como los contaminantes atmosféricos criterio y otros considerados peligrosos.

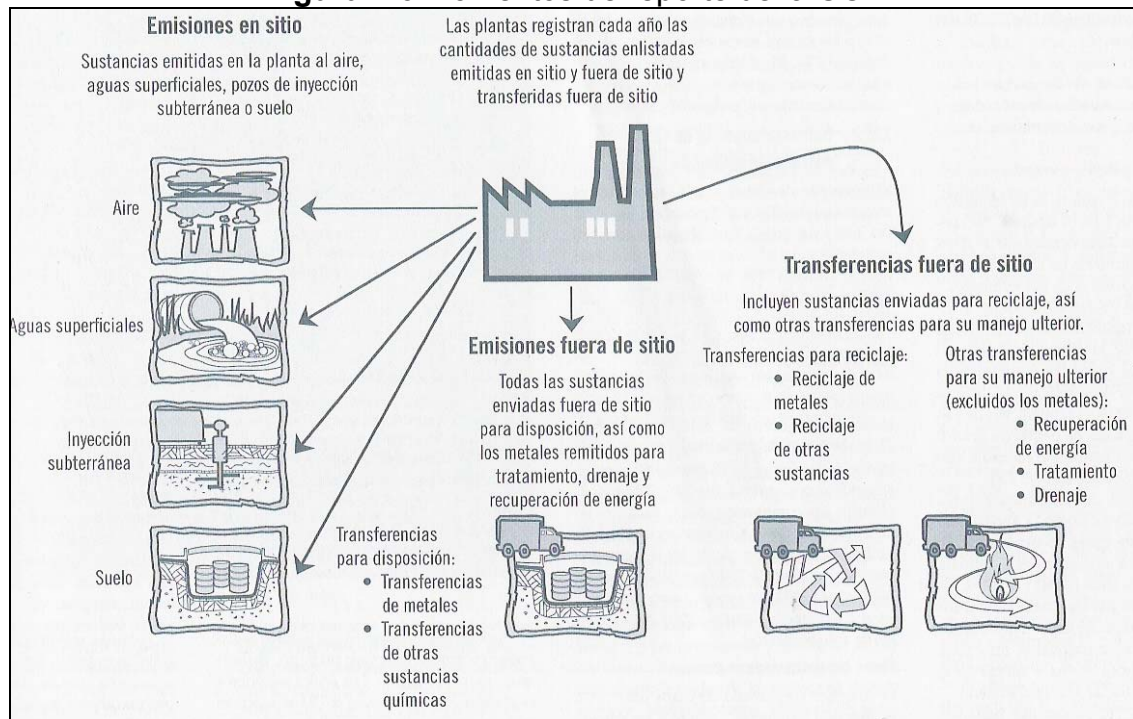
Figura 4.5 Sistema integral de regulación directa y gestión ambiental de la industria



Fuente: SEMARNAT (2005).

4.2.1.1 Cédula de Operación Anual

La COA es un mecanismo de reporte integrado, que además de los datos generales de una industria contiene sus emisiones atmosféricas, descargas de aguas residuales en cuerpos receptores federales o que se infiltren al subsuelo, y materiales y residuos peligrosos. Se entrega anualmente conteniendo la información del año calendario anterior. Los momentos de reporte a los que esta sujeta son: insumos, proceso, servicios y salidas (emisiones y transferencia) del establecimiento (ver figura 4.6)

Figura 4.6 Momentos de reporte de la COA

La COA se debe actualizar anualmente y contiene la siguiente información:

- Emisiones al aire, agua y suelo; y transferencia para su tratamiento y/o confinamiento de residuos peligrosos.
- Ubicación geográfica, datos generales, características operativas y de prevención y control de contaminantes de las fuentes de emisión.

La COA constituye la principal fuente de información para el *Registro de emisiones y transferencia de contaminantes* (RETC), que pretende ser el inventario nacional de todos los contaminantes que se generan en el país y que se encuentran en el aire, agua o suelo. Es en este registro donde se encuentran las emisiones de CO₂ a nivel nacional, y es de aquí de donde pueden desprenderse los datos para la ZMCM de nuestro interés.

4.2.1.2 Registro de emisión y transferencia de contaminantes

El RETC es un inventario nacional cuya base legal se encuentra en el artículo 109 de la LGEEPA y que incluye entre otros más de 100 contaminantes el CO₂. Se convirtió en obligatorio, público y desagregado en el año 2005 y los Estados y Municipios asumieron el papel de recolectores de datos de los sectores de su competencia (Comisión para la Cooperación Ambiental de América del Norte, 2005). El RETC puede ser consultado en línea: <http://app1.semarnat.gob.mx/retc/principales.html>.

De esta página se obtuvo la información sobre emisiones de N₂O, CH₄ y CO₂ de industria localizadas en la ZMCM, con la que se construyó la tabla 4.18 donde se presentan los gases GEI registrados en 2004 (los nombres de las industrias consideradas se enlistan en las tablas D.1 y D.2 del anexo D).

Tabla 4.17 Emisiones industriales de GEI en la ZMCM registradas en el RETC, 2004

ESTADO	EMISIONES (TON)		
	N ₂ O	CH ₄	CO ₂
Distrito Federal		1.8954	359,976.96
59 municipios del Estado de México ¹	No hay reporte	581.97	4,101,314.16
Total		583.86	4,461,294.12

¹ El RETC, de acuerdo con lo establecido por el D.O.F. el 22 de diciembre de 2005 considera 59 municipios del Estado de México como parte de la ZMCM.

Fuente: Adaptación libre de SEMARNAT, 2004b

Las industrias localizadas en la ZMCM, cuyas emisiones se sumaron para obtener el valor de CO₂ que se presenta en la tabla anterior se enlistan en las tablas D.1 y D.2 del anexo D.

Observaciones: A diferencia de los inventarios anteriores, para estos estudios se realizan comentarios de índole general, ya que no son específicos para la ZMCM.

- ☺ A pesar de que el óxido nitroso se encuentra registrado como una de las sustancias que debe reportarse en el RETC ninguna industria lo ha reportado (SEMARNAT, 2004a y 2004b).
- ☺ Otros países como Estados Unidos y Canadá tienen registros similares de emisión y transferencia de contaminantes, los cuales deberán conjugarse con el RETC según lo marca el Tratado de libre comercio. El inventario resultante es el NAPRI (North American Pollutant Release Inventory), del cual sólo se han publicado datos generales (Comisión para la Cooperación Ambiental de América del Norte, 2005).
- ☺ El inventario de Estados Unidos (TRI, Toxic Release Inventory) reporta 650 sustancias, dentro de las cuales el CO₂ solamente se reporta cuando proviene de la generación de energía eléctrica (Comisión para la Cooperación Ambiental de América del Norte, 2005). Este país emite el 90% de las emisiones de Norte América.
- ☺ El inventario de Canadá (NPRI, National Pollutant Release Inventory) reporta 268 sustancias, pero los establecimientos industriales sólo declaran sus emisiones de CO₂ equivalentes cuando se emiten más de 100,000 ton/año.
- ☺ El umbral en México para bióxido de carbono, metano y bióxido nitroso es de 100 000 kg/año (SEMARNAT, 2004a).

4.2.2 Campaña MILAGRO

El *Centro Mario Molina para estudios estratégicos sobre energía y medio ambiente* fue creado en el 2004 para la generación de medidas relacionadas a ésta problemática en nuestro país. Enfoca sus esfuerzos a dos áreas fundamentales para México y el mundo: La calidad del aire y El cambio climático.

Uno de sus programas de investigación es el *Programa integral de contaminación urbana, regional y global*, en el que participan la UNAM, el Colegio de México, la UAM, el Instituto Nacional de Educación Pública, el Instituto Mexicano de Petróleo, la Universidad de las Américas, el Tecnológico de Monterrey, MIT y Harvard.

Dentro de las actividades de este programa se incluye la publicación del libro *La Calidad del Aire en la Megaciudad de México*, en donde los datos de emisión para GEI corresponden al inventario asociado con el uso y la producción de energía eléctrica de 1996 para la ZMCM, elaborado por el Grupo de Energía y Atmósfera del Instituto de Ingeniería de la UNAM (los resultados que se reportan en el libro se pueden consultar en la sección 4.1.3).

Este programa ha generado dos campañas de medición de contaminantes, una en 2003 y otra en 2006, conocida como la *Campaña Milagro* (del inglés: Megacity Initiative Local and Global Research Observation), cuyo objetivo es obtener información científica que ayude a entender mejor los procesos de generación de contaminantes en la ZMCM; su dispersión, transporte y transformación en la atmósfera así como los patrones de exposición de la población a estos contaminantes y sus efectos sobre la salud. También busca nuevas perspectivas acerca de la química de la atmósfera en una región urbanizada grande, así como su impacto en una escala geográfica mayor.

La campaña se desarrolló en cuatro componentes:

- MCMA-2006 (The Mexico City Metropolitan Area – 2006 experiment). Se enfoca a los temas relativos a la calidad del aire de la ZMCM.
- MAX-Mex (The Megacity Aerosol Experiment in Mexico City). Examina la evolución de los aerosoles y las interacciones gas-aerosoles en el flujo inmediato de contaminación fuera de la zona urbana.
- MIRAGE-Mex (Megacity Impacts on Regional and Global Environments). Examina la evolución de la pluma de contaminación proveniente de la Ciudad de México en escalas regionales mayores.
- INTEX-B (Intercontinental Chemical Transport Experiment-B). Se enfoca en el transporte de la contaminación en grandes escalas espaciales, la fotoquímica atmosférica global y los efectos sobre la radiación y el clima de los aerosoles y las nubes.

Dentro de ésta campaña se consideran GEI y se midieron flujos de CO₂ dentro de la ciudad empleando técnicas de micrometeorología y obteniéndose datos para este gas en zonas de 2 km². Los resultados de esta campaña estarán disponibles en marzo de 2008 para la comunidad científica.

Observaciones: Es interesante que parte de la información de GEI de la que dispone el Centro Mario Molina en este programa provenga del inventario realizado por el Grupo de Energía y Medio Ambiente de la UNAM, por lo que las observaciones de ese inventario aplican también a este estudio.

4.2.3 Programa voluntario de contabilidad e informe de gases efecto invernadero (Programa GEI México)

Este programa se inició en agosto de 2004, a través de un convenio de colaboración entre la SEMARNAT, el World Business Council for Sustainable Development (WBCSD) y el World Resources Institute (WRI). Facilita la participación directa de empresas, cámaras y asociaciones empresariales y proporciona asistencia en la elaboración de inventarios corporativos de GEI, para identificar oportunidades de reducción y participar en programas y proyectos de mitigación de emisiones de GEI.

Hasta agosto de 2006, cuarenta y cinco empresas se han inscrito al Programa. Las emisiones totales de 30 de estas 45 empresas ascienden a 89.2 millones de ton CO_{2eq}, por combustión en fuentes estacionarias y móviles, y emisiones fugitivas, manejo de residuos en ganado, el tratamiento de aguas residuales y emisiones indirectas (por el uso de electricidad comprada). Las empresas integrantes del Programa GEI México en 2005, así como sus emisiones se pueden observar en el anexo F, tabla F.1.

De las 30 empresas que reportan a este programa, sólo cinco reportaron CO₂ al RETC (ver tabla 4.18).

Tabla 4.18 Industrias del programa GEI México que reportan CO₂ en RETC

ESTABLECIMIENTO	MUNICIPIO	EMISIONES (TON)
Ford Motor Company S.A. De C.V. Planta De Ensamble Cuautitlán	Cuautitlan	4 140.18
Boehringer Ingelheim Promeco S.A De C.V.	Xochimilco	3 406.74
Cervecería Modelo S.A. De C.V.	Miguel Hidalgo	93 763.75
Colgate Palmolive S.A. De C.V.	Miguel Hidalgo	19 187.00
Pemex Refinación	Gustavo A. Madero	192.08

Fuente: Adaptado de SEMARNAT, 2004b.

Observaciones: Las observaciones a este programa son principalmente cualitativas:

- ☺ Este tipo de iniciativas alientan a las industrias a reportar.
- ☺ Se han realizado actividades que afectan la dinámica de una megaciudad tan compleja como la ciudad de México, así como el ritmo de vida y economía de los habitantes modificándolos de una manera positiva

4.2.4 Sistema Nacional de Emisiones

El proyecto: Inventario Nacional de Emisiones, desarrollado por el Instituto Nacional de Ecología, con el apoyo de la (EPA) y la Western Governors Asociación (WGA), la Comisión para la Cooperación Ambiental (CCA) y la Subsecretaría de Gestión para la Protección Ambiental de SEMARNAT, comenzó en 1995. Busca desarrollar el primer inventario nacional de emisiones y promover la capacidad técnica nacional para el desarrollo de inventarios de emisiones. Dentro de este proyecto está el INEM (Inventario Nacional de Emisiones de México) y el SINE (Sistema Nacional de Emisiones).

Inventario Nacional de Emisiones de México (INEM). Las emisiones estimadas para el primer Inventario Nacional de Emisiones de México corresponden al año 1999 y provienen de cinco tipos de fuentes de emisión: fuentes fijas, fuentes de área, vehículos automotores, fuentes móviles y fuentes naturales.

El INEM, 1999 presenta emisiones a la atmósfera de seis contaminantes (NO_x, SO_x, COVs, CO, NH₃, PM10 y PM2.5) y no incluye CO₂. La información del INEM está contenida en el Sistema Nacional de Emisiones.

Sistema Nacional de Emisiones (SINE). Conjunta la información del INEM 1999 y de los inventarios existentes de GEI. Puede consultarse en: <http://aplicaciones.semarnat.gob.mx/sine/>. En la tabla 4.19 se presentan las principales emisiones de GEI de toda la República Mexicana desde 1990-2002.

Tabla 4.19 Emisiones nacionales de CO₂ por año

AÑO	CO ₂ (MTON/AÑO)
1990	307.6
1992	319.6
1994	343.1
1996	347.4
1998	393.3
2000	404.4
2002	480.4

Fuente: SEMARNAT, 2007.

La información de GEI es nacional y no se encuentra desagregada por Estados, por ello no se pueden identificar las emisiones provenientes de la ZMCM. Los sectores que se toman en cuenta son: energía, productos industriales, cambio de uso de suelo y silvicultura (incluye emisiones de animales, cultivo de arroz, quema de residuos agrícolas, fertilizantes y suelos agrícolas); y manejo de residuos (basura dispuesta en rellenos sanitarios y tiraderos). Las emisiones reportadas fueron obtenidas a través del Manual de Buenas Prácticas del IPCC.

Con propósitos comparativos se presentan las emisiones de CO₂, para el año 2002 en los subsectores considerados (tabla 4.20).

Observaciones. La única observación sobre los resultados de este inventario es que:

- ☺ En el SINE se toman en cuenta subsectores no considerados en otros inventarios, como captura de carbono por abandono de tierras e incineración de residuos sólidos.

Tabla 4.20 Emisiones nacionales de CO₂ por subsectores (2002).

SECTORES	SUBSECTOR	CO ₂ (Mton/AÑO)
Energía	Consumo de combustibles	345.3
	Emisiones fugitivas de combustibles	0.996
	Emisiones totales	346.3
Procesos industriales	Productos minerales	30.618
	Industria química	1.128
	Producción de metales	15.322
	Otros procesos industriales	No reporta
	Producción de halocarbonos y hexafluoruro de azufre	No reporta
	Consumo de halocarbonos y hexafluoruro de azufre.	No reporta
	Emisiones totales	47.069
Cambio de uso de suelo y silvicultura	Captura por abandono de tierras	-12.883
	Emisiones y captura de co2 del suelo	30.278
	Otros	0.066
	Cambios de Uso de Suelo	No reporta
	Cambios en existencia (inventario) de bosques y otra biomasa leñosa	No reporta
	Emisiones totales	86.877
Residuos	Incineración de residuos	0.1019
	Manejo y Tratamiento de Residuos	No reporta
	Disposición de Residuos	No reporta
	Emisiones totales	0.1019

Fuente: SEMARNAT, 2007.

4.3 FACTORES DE EMISIÓN

Un factor de emisión es una herramienta frecuentemente usada para estimar emisiones en el manejo de la calidad de aire. Es un valor que relaciona la cantidad de un contaminante liberado a la atmósfera con una actividad asociada con esa emisión. Usualmente se expresan como el peso del contaminante dividido por una unidad de volumen, distancia o duración de actividad que emite el contaminante.

La ecuación general para una estimación de emisión es:

$$E = A \times FE$$

Durante la elaboración de un inventario, especialmente de GEI, se presenta un problema recurrente debido al uso de factores de emisión inadecuados para la actividad emisora de GEI, porque en algunos casos se carece de estudios que permitan determinar factores de emisión propios a nivel nacional.

Los factores de emisión empleados en los inventarios que se analizan en este trabajo se presentan a continuación.

4.3.1. Panel Intergubernamental de Cambio Climático

De acuerdo con el IPCC (1996), las metodologías para estimar las emisiones de GEI pueden dividirse en tres grupos, de acuerdo con el nivel de detalle:

- Nivel 1. Cuando se emplean factores de emisión basados en la producción. Para la aplicación de esta metodología es necesario reunir los datos de la actividad y conocer los valores de emisión regionales típicos (o de datos disponibles localmente).
- Nivel 2. Se emplean balances de masa y se desarrolla con mayor detalle pues se cuenta con información del tipo de tecnología de combustión o se conocen incluso, los factores de emisión específicos del país.
- Nivel 3. Es el método de evaluaciones rigurosas de fuentes específicas, basado en mediciones.

Con la información con la que se cuenta en este momento en México, los inventarios nacionales y regionales están constituidos con base en una metodología que está entre el Nivel 1 y 2, ya que se conocen las tecnologías de combustión pero se emplean factores de emisión internacionales.

De acuerdo con la metodología del IPCC, las emisiones de CO₂ dependen del combustible y no de la tecnología de combustión. El consumo de combustibles se divide en seis grandes áreas:

- Energía primaria.- producción nacional, más importaciones, menos exportaciones. Es aquel recurso energético que no ha sufrido transformación alguna, con excepción de su extracción. En este caso, se encuentran el petróleo crudo, el gas asociado o no asociado.
- Energía secundaria. Es el recurso que ha sufrido algún proceso de transformación.
- Carbono almacenado. Se refiere a los productos energéticos que sirven como materia prima pero que no sufren un proceso de oxidación o combustión (tal es el caso por ejemplo, del gas natural que sirve como materia prima para la elaboración de petroquímicos o del petróleo que es utilizado para la elaboración de lubricantes o plásticos) y a la fracción de carbono que no se oxida en el proceso de combustión.
- Emisiones fugitivas. Son aquellos gases que se liberan a la atmósfera producto de fugas en la producción, transporte o consumo de combustibles. En el caso de México, debido a que la minería del carbón no es tan importante, las emisiones fugitivas más cuantiosas provienen del petróleo y el gas natural.
- Combustible en buques tanques internacionales. Son los combustibles que no se queman en el país, pero que son entregados en buques tanques para transporte marítimo o aéreo. El combustible utilizado para la aviación, debe ser reportado siguiendo la metodología internacional.
- Combustibles de biomasa. Se excluye de la contabilidad nacional del inventario. Las emisiones de CO₂ provenientes del uso de la biomasa se reportan para información. Esto se debe a que en la metodología del IPCC se supone que la cantidad que se quema es igual a la que se regenera. De no ser así, esto debe ser reportado en el inventario relacionado con cambio de uso de suelo.

Los procesos de combustión se optimizan para brindar la máxima cantidad de energía por unidad de combustible consumido, de aquí que se entregue la máxima cantidad de CO₂. Los factores de emisión de CO₂ son por lo tanto relativamente insensibles a los procesos de combustión y de aquí que sean mayoritariamente dependientes solamente en el contenido de carbón del combustible. El carbón contenido puede variar considerablemente entre los tipos de combustibles:

- El contenido de carbón de gas natural depende de la composición de este gas. En su estado inicial es principalmente metano, pero puede incluir pequeñas cantidades de etano, propano, butano y otros hidrocarburos más pesados.
- El contenido de carbono por unidad de energía es usualmente menor para productos refinados como la gasolina que para productos más pesados como el aceite residual utilizado como combustible.
- Para el carbón, las emisiones por tonelada varían considerablemente dependiendo de su composición, hidrógeno, azufre, ceniza, oxígeno y nitrógeno. Al convertir a unidades de energía esta variabilidad se reduce.

Una pequeña parte del carbón que entra a combustión no se oxida, siendo que los factores de emisión que se emplean comúnmente asumen una oxidación del 100%. Para algunos combustibles, ésta fracción puede no ser despreciable en la práctica y es donde valores representativos específicos para cada país deben ser usados.

Los inventarios que utilizaron factores de emisión del IPCC, así como sus valores se presentan en la tabla 4.21.

GEI distintos al CO₂. Para calcular las emisiones de metano y óxido nitroso, además del tipo de combustible utilizado, se toma en cuenta la tecnología de

combustión, las condiciones de funcionamiento, la tecnología de control, del mantenimiento y los años de funcionamiento de los equipos.

Tabla 4.21 Factores de emisión IPCC empleados (kg CO₂/TJ).

Combustible	Estrategia local de cambio climático Inventario de GEI asociados a producción y uso de energía, ZMCM	Inventario 1998	Inventario 2000, 2002, 2004	Actualización y desarrollo del balance de energía
Gas natural	56100	56100	56100	56251
Gas licuado	63067	63067	63070 ¹ 63067 ²	63268
Combustóleo ligero	77367	77367	-----	76593
Combustóleo pesado	77367	77367	-----	
Gasolina	69300	69300	Premium y Magna: 69300	68604
Diesel	74067	74067 74070 ³	74070	73326
Gasóleo	74067	74067	74067	-----
Petróleo diáfano	69300	69300	-----	-----
Coque	94600	-----	-----	94919
Leña	109633	-----	-----	0
Carbón bituminoso	94600	-----	-----	94919
Querosinas	71867	-----	-----	69178

1 Sector transporte e industria

2 Sector residencial, comercial y servicios

3 Sector transporte

Observaciones: Es importante señalar que la *Actualización y desarrollo del balance de energía* realizado por el Programa universitario de energía de la UNAM posee diferentes factores de emisión de GEI. La argumentación es que el PUE-UNAM, decidió utilizar un promedio de los factores de emisión que sugiere la metodología IPCC para diferentes tipos de combustible y tecnología.

4.3.2 Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos

Un factor de emisión AP-42 es el valor representativo que relaciona la cantidad de contaminante emitido a la atmósfera con la actividad asociada a esa emisión. Estos factores son usualmente expresados en peso de contaminante por unidad de peso, volumen, distancia o duración de la actividad que emite el contaminante.

En muchos casos, estos factores son sencillamente promedios de todos los datos de calidad aceptables y generalmente se asumen como representativos de promedios a largo plazo.

En ocasiones estos valores no indican la influencia de parámetros considerados importantes, como temperatura y concentración de los reactivos. La cobertura y detalle de los factores de emisión en el AP-42 se determina por la información disponible. Emisiones de algunos procesos están mejor documentados que otros.

La Environmental Protection Agency (EPA) de Estados Unidos tiene factores de emisión para numerosas industrias, fuentes de área, agricultura disposición de residuos sólidos, tanques de almacenamiento, fuentes biogénicas de GEI y fuentes móviles.

Cada factor de emisión tiene una calificación desde A hasta E. A, indica mayor confiabilidad y fortaleza del factor. Esta clasificación depende de las variables que se tomaron en cuenta para el desarrollo del factor: pruebas de campo, modelado, balance de masa u otra información.

Los inventarios estudiados toman en cuenta quemadores sin control, lo que significa que la combustión es ineficiente, por lo tanto se usan los factores de emisión más bajos. Es decir, se supone el peor escenario de emisión con el objetivo de sobreestimar las emisiones.

El Inventario 1998 es el único que utiliza factores de emisión de la EPA para realizar las estimaciones de CO₂ provenientes de los combustibles mostrados en la tabla 4.22.

Tabla 4.22 Factores de emisión utilizados por el Inventario 1998, EPA

Combustible	Inventario 1998
Gas natural	49716
Gas licuado	59979

Continuación:

Combustóleo ligero	66539
Combustóleo pesado	74595
Gasolina	----- ¹
Diesel	71673
Gasóleo	71673
Petróleo diáfano	77953
Coque	-----
Leña	-----
Carbón bituminoso	-----
Querosinas	-----
Combustible	Inventario 1998

¹No considera gasolina pues el inventario utiliza los datos del IPCC, que están basados en la EPA.

4.3.3 Asociación de Técnicos y Profesionistas en Aplicación Energética

La Asociación de Técnicos y Profesionistas en Aplicación Energética (ATPAE), formada en 1985, promueve y propicia el uso sostenible de la energía (ATPAE, 2007). En 2002, con el apoyo de la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional, USAID, desarrolló una metodología para adaptar factores de emisión internacionales de GEI (CO₂, CH₄ y N₂O) a cuatro zonas específicas en nuestro país.

Los factores de emisión adaptados son los relacionados con la producción de energía eléctrica. La ecuación para obtener el factor de emisión adaptado (CEE, Coeficiente de Emisión por obtención de Energía) es:

$$\text{CEE por planta, tCO}_2/\text{MWh} = \frac{\text{Consumo de combustible} \times \text{Factor de emisión del combustible}}{\text{Generación de energía eléctrica}}$$

donde el factor de emisión empleado proviene del Manual de Buenas Prácticas del IPCC, y las cuatro zonas en las que se divide la República mexicana son:



La ATPAE considera las siguientes categorías para calcular los coeficientes de emisión:

- 1.- Promedio del sistema. Considera información promedio de todas o de algún tipo particular de plantas de generación del sistema eléctrico. Se definen los siguientes coeficientes de emisión:
 - A. Coeficientes de emisión-total: toma en cuenta el promedio de las plantas del parque de generación de energía eléctrica.
 - B. Coeficientes de emisión termoeléctricas: considera el promedio únicamente de las plantas termoeléctricas que usan combustibles fósiles.

- 2.- Operación marginal. Toma en cuenta a las plantas que son las primeras en verse afectadas por las variaciones en la demanda de energía. Sólo define un coeficiente de emisión:
 - A. Coeficientes marginales: utiliza a las plantas incluidas dentro de ésta categoría.

- 3.- Prospectiva de plantas. Se instrumenta a partir de la información sobre las plantas adicionales cuya construcción está planeada.

- A. Coeficientes prospectiva: incluye las plantas del sistema eléctrico nacional (SEN).
- B. Coeficientes 5-Recientes: utiliza datos de las 5 últimas plantas instaladas.

A continuación se presentan los factores de emisión recomendados por ATPAE hasta el 2001. Ellos recomiendan utilizar un coeficiente de emisión híbrido o combinado que refleja los impactos en las plantas actuales, así como en las plantas nuevas.

$$CEE - híbrido = 50\%CEE - Termoeléctricas + 50\%CEE - 5 Recientes$$

Tabla 4.23. Factores de emisión híbridos 1995-2001, ATPAE

CEE-Híbrido*(tCO ₂ eq/MWh), Histórico 1995-2001					
Año	Sistema Interconectado	Sistema Noroeste	Sistema Baja California	Sistema Baja California Sur	Todo el Sistema Eléctrico Nacional
1995	0.6341	0.6911	0.6673	0.781	0.6273
1997	0.6317	0.6171	0.681	0.7877	0.6263
1998	0.6401	0.6029	0.6913	0.8228	0.6332
1999	0.6378	0.6247	0.7029	0.8172	0.6301
2000	0.638	0.6244	0.6627	0.8232	0.6612
2001	0.6521	0.6157	0.6029	0.8085	0.6539

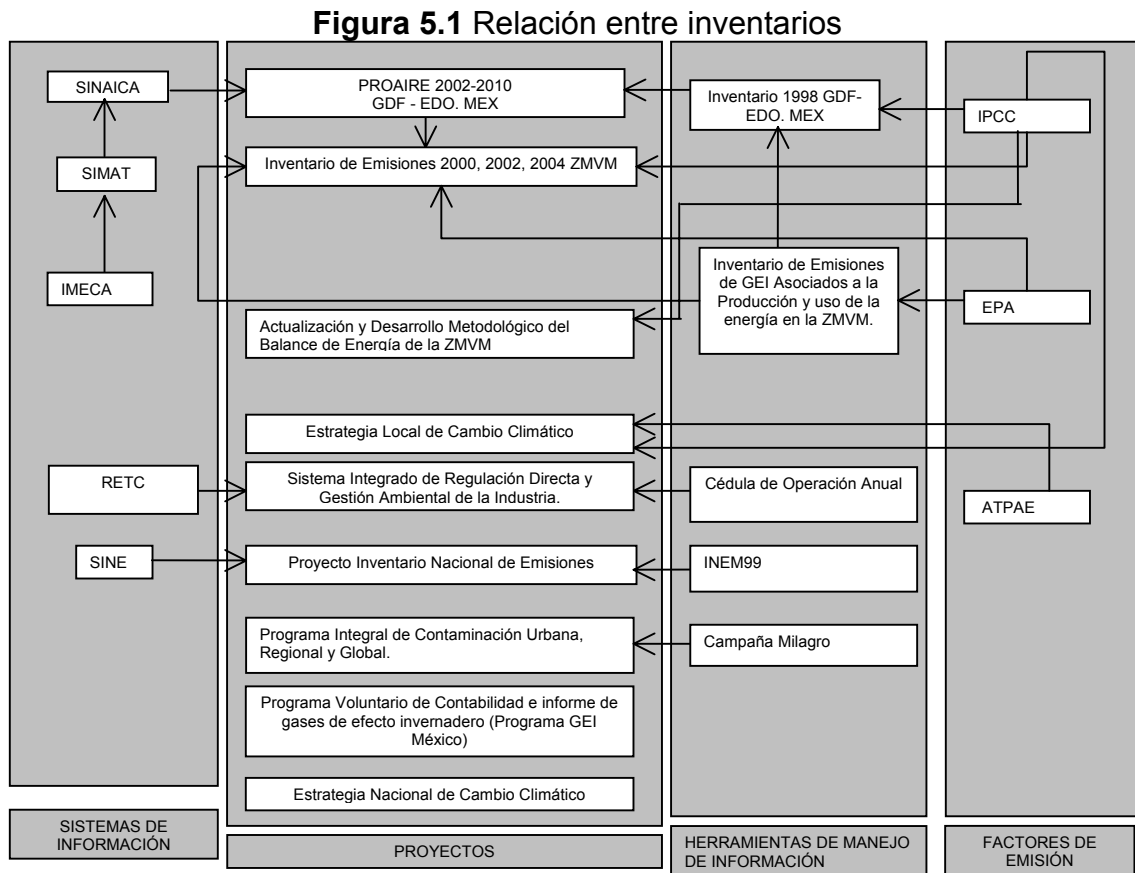
Fuente: Asociación de técnicos y profesionistas en aplicación energética, 2004.

Después de haber analizado los inventarios, así como los factores de emisión se compararán en el siguiente capítulo.

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En este capítulo se resumirán y compararán los diferentes inventarios que se presentaron en el capítulo anterior.

A continuación se presentan las características principales de los cinco inventarios analizados (ver secciones 4.1.1 a 4.1.5) y de dos de los estudios relacionados: el RETC y el inventario nacional de emisiones (4.2.1.2 y 4.2.4) que presentan datos susceptibles de ser comparados. A manera de resumen, la relación entre los elementos que se investigaron en esta tesis se presentan en la siguiente figura (5.1):



5.1 Análisis de inventarios

A continuación se presentan seis tablas que contrastan variables importantes de decisión para la aceptación o rechazo de un inventario, o bien para formular la elaboración de uno nuevo. Los estudios considerados en cada tabla, corresponden a la siguiente numeración:

- 1 Estrategia Local de Cambio Climático
- 2 Actualización y desarrollo metodológico del balance de energía
- 3 Inventario de emisiones de GEI asociados a la producción y uso de la energía en la ZMCM
- 4 Inventario 1998
- 5 Inventario 2000, 2002 y 2004
- 6 Registro de Emisión y Transferencia de Contaminantes (RETC)
- 7 Inventario Nacional de Emisiones

En la primera tabla (5.1), se presenta las emisiones de cada inventario de emisiones.

Tabla 5.1 Emisiones de CO₂ (Mton/año) para los diferentes inventarios

SECTOR	1	2		3	4		5			6	7
	2000	2000	2001	1996	1998 ¹	1998 ²	2000	2002	2004	2004	2002
Transporte	20	20.3	21.1	19.719	19.73	19.73	20.13	20.4	20.48		
Industrial	17.12	6.5	6.3	14.125	12.73	11.43	12.63	11.77	10.56	4.46	47.069 ³
Residencial	8.54	4.8	5.2	9.047	5.08	4.83	3.58	2.39	3.25		
Comercial	2.9			1.885							
Público	0.652			0.744							
Agropecuario				0.075							
Gobierno	0.88										
Generación energía eléctrica	16.779	16.7	16.8	2.87							
Suelo de conservación	0.148										
Residuos sólidos	0.416					0.47	0.47	0.417	0.612		0.1019

Continuación:

SECTOR	1	2		3	4		5			6	7
	2000	2000	2001	1996	1998 ¹	1998 ²	2000	2002	2004	2004	2002
Quema de combustibles y generación de electricidad											346.3
Cambio de uso de suelo y silvicultura											86.877
TOTALES	50.386	48.3	49.4	45.595	37.54	36.46	36.82	35.907	36.392	4.46	480.246

1 Valores estimados usando factores de emisión de IPCC

2 Valores estimados usando factores de emisión de EPA

3 Se reporta como productos industriales

El Proyecto Inventario Nacional de Emisiones (7) reporta una menor emisión de CO₂ de residuos sólidos que los otros inventarios y aclara que solamente toma en cuenta la incineración, sin embargo ésta no es una práctica común en nuestro país y se recomienda un análisis más profundo de este dato.

El dato de emisión para generación de energía, dentro del Inventario de emisiones de GEI asociados a la producción y uso de la energía en la ZMCM (3), se presenta en la tabla, pero debe recordarse que no se considera en la suma del total (ver tabla 4.7).

La segunda tabla, muestra las fuentes de información empleadas para obtener los niveles de actividad u otros datos, necesarios para el cálculo de las emisiones (tabla 5.2). Para facilitar la presentación, las diferentes fuentes se agrupan en: organizaciones oficiales nacionales, internacionales y empresas privadas.

En esta tabla es fácil corroborar las relaciones que existen entre los diferentes inventarios (ver figura 5.1), así como en sus estimaciones (tabla 5.1), ya que emplearon los mismos factores de emisión y/o las mismas fuentes de información para calcular los niveles de actividad.

Tabla 5.2 Fuentes de información de los inventarios

	1	2	3	4	5
NACIONALES					
Comisión Nacional Forestal					
Sría. de Comunicaciones y Transporte					
Cámara Nal. de la industria de las Artes Gráficas					
Cámara Nal. de la industria de baños y balnearios					
Secretaría de Salud					
SAGARPA					
Sistema de información de condiciones de tránsito					
CONCAMIN					
CNA					
Sría. de Transportes y Vialidad					
Sría. de Medio Ambiente del Edo. Mex.					
Sría. de Desarrollo Urbano y Ecología					
SMA					
IMP					
PEMEX					
INEGI					
SEMARNAT					
INE					
Planta de asfalto del gobierno del Distrito Federal					
Dirección Gral. del Heroico Cuerpo de Bomberos					
Aeropuertos y Servicios auxiliares					
Ferrocarril y Terminal del valle de México					
Red de transporte de pasajeros del DF					
Dir. Gral. de Construcción y Operación Hidráulica					
Luz y Fuerza					
Balance de energía de la ZMCM					
PUE					
Gobierno del DF					
COA					
SENER					
UNAM					
CFE					
CONAPO					
CAM					
Comisión metropolitana de transporte y vialidad					
Sistema Nacional de Información Ambiental					
INTERNACIONALES					
EPA ¹					
IPCC ¹					
CMNUCC					
OCDE					
IEA					
Banco Mundial					
Agencia Internacional de Energía					
JICA					
Protocolo de Kyoto					
EMPRESAS PRIVADAS					
Metrogras					
TUV Rheinland					

Continuación:

	1	2	3	4	5
Radian International					
ATPAE ¹					
CESPEDES					

1 Factores de emisión

La tercera tabla (5.3) expone los combustibles considerados dentro de cada estudio.

Tabla 5.3 Tipos de combustibles considerados por los inventarios

COMBUSTIBLE	1	2	3	4	5
Bagazo de caña					
Gasolinas					
Gas natural					
GLP					
Diesel			(a)		
Combustóleo	(b)		(b)	(b)	
Gasóleo					
Leña					
Carbón					
Coque					
Petróleo diáfano					
Turbosinas					
Querosinas					

a) normal, centrifugado y especial

b) ligero y pesado

Al tratar sobre el uso de factores de emisión para la estimación de los GEI en la atmósfera se estableció como se relacionan con el nivel de actividad y por lo tanto la importancia que dentro de un inventario tiene el detalle con el que se estimen o conozcan las diversas actividades dentro del sector analizado. Entre más se disgreguen los combustibles que se queman dentro de un sector, mayor será la confianza en las emisiones estimadas.

Y, así como tiene importancia distinguir entre los combustibles quemados, es también indispensable separar lo más posible las actividades contaminantes (sectores) relacionados con los niveles de actividad. La tabla 5.4 siguiente registra los sectores considerados por cada inventario.

Tabla 5.4 Sectores de emisión considerados por los inventarios

	1	2	3	4	5	6	7
Cambio de uso de suelo y silvicultura							
Suelo de conservación							
Solventes y uso de los productos							
Rellenos sanitarios							
Transporte							
Industrial							
Residencial							
Comercial							
Público							
Agropecuario							
Gobierno							
Servicios							
Generación de energía eléctrica							
Otras fuentes de emisión							

De esta tabla es importante destacar que no existe un consenso entre los diferentes grupos de investigadores acerca de cómo deben dividirse las actividades que producen GEI, ni tampoco en las características específicas de cada sector considerado. Las emisiones debidas al sector agropecuario dentro de la Estrategia local (1) no son explícitamente consideradas, sólo se indica que dentro del suelo de conservación se toman en cuenta áreas de deforestación, extensión cubierta por diferentes tipos de árboles y tipos ganado existente.

Además, algunos inventarios agrupan varios sectores en uno sólo, mientras que otros subdividen aún más los sectores considerados. La quinta tabla exhibe los subsectores del sector industrial (tabla 5.5), en donde también es posible observar que no existe consenso sobre los subsectores que deben ser considerados.

Tabla 5.5 Subsectores industriales considerados

	1	2	3	4	5
Energía eléctrica					
Minería					
Siderúrgica					
Azúcar					
Cemento					
Vidrio					
Fertilizantes					
Cerveza y Malta					
Automotriz					
Agua Envasada					
Aluminio					
Construcción					
Tabaco					

Continuación:

	1	2	3	4	5
Hule					
Petroquímica	(a)				(a)
Química					
Celulosa y Papel	(b)				(b)
Minerales no metálicos					
Metales no ferrosos					
Prod. alimenticios, bebidas y tabacos					
Textil	(c)				(c)
Prdoductos vegetales y animales					
Madera y productos de madera					
Maguinaría					
Equipo de transporte					(e)
Productos de vida media					
Productos de vida larga					
Productos de consumo varios					
Productos de impresión					
Productos metálicos					
Industria metálica básica					
Otras					

a) Incluye además a la industria de plásticos

b) Incluye imprentas y editoriales

c) También incluye cuero

d) Incluidas como industria química, además de la farmacéutica, jabones, detergentes y cosméticos

e) Incluye instrumentos quirúrgicos y de precisión.

Finalmente, en la tabla 5.6 se presenta la clasificación vehicular empleada por los diferentes inventarios, debiendo destacarse que todos ellos toman en cuenta los automóviles particulares, taxis, microbuses y pick ups.

Tabla 5.6 Tipo de vehículos considerados en el sector transporte

	1	2	3	4	5
Particulares					
Taxis					
Microbuses					
Combis					
Vehículos GNC					
Camiones de carga					
Ruta 100					
Autobuses suburbanos					
Autobuses particulares					
Carga ligera					
Carga mediana y pesada					
Carga de más de dos ejes					
Pick Up					
Camionetas a GLP					
Vehículos <3 ton					
Vehículos a diesel <3 ton					
Camiones de carga a gasolina					

Continuación:

	1	2	3	4	5
Tractocamiones					
Tractocamiones a diesel					
Autobuses a diesel					
Vehículos a diesel >3 ton					
Vehículos > 3 ton					
Camiones de carga a GLP					
Motocicletas					
Otros					

A continuación, partiendo de las tablas de comparación anteriores, repasaremos las ventajas y desventajas de cada inventario.

5.1.1 Estrategia Local de Cambio Climático

Este inventario fue el primero en considerar exclusivamente los gases de efecto invernadero y el único en manejar por separado dos inventarios: uno para el Distrito Federal y otro para la ZMCM (D.F. más municipios conurbados del Estado de México). Además, ningún otro inventario presenta estimaciones de GEI para años futuros, como lo hace éste.

La Estrategia Local propone emisiones para el periodo 2000-2012, basados en tres escenarios de crecimiento del PIB y aplicando los factores de emisión nacionales desarrollados por la Asociación de técnicos y profesionistas en aplicación energética (ATPAE), que reflejan las condiciones de nuestro país, en comparación con factores de emisión internacionales, como los del IPCC y EPA.

La Estrategia considera 22 fuentes de información, de las cuales 13 son nacionales, 7 internacionales y tiene información de 2 empresas privadas. Dentro de los inventarios estudiados, es el que se auxilia de más fuentes internacionales de información.

Este inventario es, además, el único que proporciona los resultados de CO₂ y de otros GEI como CO₂eq; también, es el que más sectores de emisión considera

(industrial, transporte, residencial, comercial, público, gobierno, generación de energía eléctrica, suelo de conservación y residuos sólidos), no agrupa al sector comercial con el residencial y es el único que toma en cuenta la emisión del sector gobierno.

Finalmente, la Estrategia Local muestra las emisiones directas e indirectas para cada sector, así como las emisiones de metano y óxido nitroso (aunque esto también lo hacen otros inventarios). De todos los estudios evaluados, es el que considera más tipos de vehículos. Toma en cuenta diez tipos de combustibles.

5.1.2 Actualización y desarrollo metodológico del balance de energía

Este inventario empleó 14 fuentes de información, de las cuales 9 son nacionales y 5 internacionales. Además, presenta gráficamente (ver sección 4.1.2) el destino final de los combustibles dentro de cada sector, lo que no podemos observar en los otros estudios. Es el único estudio que presenta balances energéticos para 1996 y 1998, los cuales no se analizaron aquí porque no incluyen la estimación de emisiones de CO₂.

A pesar de la segregación de sectores que emplea (generación de electricidad, transporte, industria, residencial, comercial, público y agropecuario), mezcla las emisiones del sector residencial con el sector público y agropecuario; y no incluye emisiones de CO₂ por la descomposición de residuos sólidos.

Respecto al sector de generación de energía eléctrica, utilizó seis plantas de generación, mientras que la Estrategia Local sólo empleó cinco. Sin embargo, las emisiones que se reportan para el sector de generación de energía eléctrica son casi iguales (16.65 y 16.72 Mton, respectivamente).

La actualización tomó en cuenta once diferentes tipos de vehículos y, junto con la Estrategia Local, son los inventarios que más combustibles consideran (bagazo de caña, leña, coque y carbón, gas licuado, gasolinas, diesel, combustóleo,

queroseno y gas natural). Es el único estudio que toma en cuenta el bagazo de caña.

Reporta emisiones directas y las emisiones indirectas de los sectores. La clasificación del sector industrial es la más amplia de todos los estudios. Además, proporciona emisiones de otros gases: metano, óxido nitroso y compuestos orgánicos volátiles diferentes al metano.

Finalmente, en el documento original se encontraron algunos datos difíciles de interpretar, cuya aceptación o rechazo requirieron largas horas de análisis y restan confiabilidad al estudio.

5.1.3 Inventario de emisiones de GEI asociados a la producción y uso de la energía en la ZMCM

Este inventario considera siete sectores (residencial, comercial, público, transporte, agropecuario, industrial y generación de energía eléctrica) y, como otros, diferencia entre emisiones directas e indirectas.

Al igual que la Estrategia Local, toma en cuenta el sector público, enfocándose en el consumo de electricidad para iluminación pública y bombeo de aguas negras y potables, pero es menos específico en cuanto a usos finales y contribuciones de las plantas de tratamiento.

Para el sector residencial, este estudio considera cocción de alimentos, calentamiento de agua, calefacción, iluminación y planchado; y como la Estrategia Local, emplea información de la Encuesta Nacional de Ingreso y Gasto en los Hogares (ENIGH) del INEGI.

Para el sector agropecuario, este inventario menciona que se utilizan los datos de 1996 del Programa Universitario de Energía de la UNAM (PUE, 2000) y que

excluye los suelos de conservación. También excluye las emisiones de rellenos sanitarios.

Para la generación de energía eléctrica, las cinco plantas consideradas (Jorge Luque, Lechería, Nonoalco, Valle de México de CFE, Valle de México de Luz y Fuerza) son las mismas que considera la Estrategia Local de Cambio Climático.

El presente inventario, al igual que la Estrategia Local y la Actualización, proporcionan emisiones de metano y óxido nitroso; además de contaminantes locales como CO, NO_x, SO₂, compuestos orgánicos volátiles diferentes al metano y PM10.

Es el que considera más diversificación de combustibles: coque, gas licuado, petróleo diáfano, gasolinas, diesel normal, diesel centrifugado, diesel especial, gasóleo, combustóleo pesado y ligero, gas natural y turbosinas.

5.1.4 PROAIRE 2002-2010

Este programa forma parte del Plan Nacional de Desarrollo de nuestro país y por tanto su análisis es de la mayor importancia. Se basa en el Inventario 1998 que considera cinco sectores de emisión (industrial, transporte, residencial, comercial y rellenos sanitarios).

Cabe destacar que éste inventario incluye la emisión de contaminantes criterio para el sector de generación de energía eléctrica y el sector público, pero no las de bióxido de carbono.

El total de CO₂ que reporta este inventario es menor que el de los demás inventarios estudiados, debido a que no se incluyen las emisiones indirectas de los sectores considerados.

Junto con la Estrategia Local, es el inventario que más tipos de vehículos considera, pero el que menos tipos de combustibles incluye (gas natural, gas LP, combustóleo ligero y pesado, diesel, gasóleo y petróleo diáfano).

Para el sector industrial, hace una segregación bastante amplia. Además, presenta la emisión de otros contaminantes: PM10, bióxido de azufre, monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno e hidrocarburos totales.

5.1.5 Inventario 2000, 2002 y 2004

Este inventario empleó 30 diferentes fuentes de información y diez tipos de vehículos. A pesar de estar basado en el inventario del Grupo de Energía y Ambiente (2000), considera menos combustibles que ese.

La clasificación industrial que emplea es casi la misma que la Estrategia Local, pero considera a la generación de energía eléctrica como un subsector industrial y no como un sector.

Las emisiones para el sector residencial/comercial se encuentran unidas, lo que se considera una desventaja.

Estos inventarios consideran además: bióxido de azufre, óxidos de nitrógeno, compuestos orgánicos totales, metano, compuestos orgánicos volátiles, PM2.5 y amoníaco.

5.1.6 Sistema Integrado de Regulación Directa y Gestión Ambiental de la Industria

En éste capítulo se analizaron la Cédula de Operación Anual (COA) y el Registro de Emisión y Transferencia de Contaminantes (RETC), que incluye 104 sustancias contaminantes, entre ellas el bióxido de carbono.

Las industrias de jurisdicción federal que reportan la COA representan apenas 10% de las 350,000 industrias asentadas en el país (Bowman, 2006); es decir, lo que se reporta en el RETC es presumiblemente tan sólo el 10% de las emisiones de todo el sector industrial de la República.

El primer año de reporte publicado es el año 2004, que aquí se analizó. El RETC deberá publicarse cada año, ya que el reporte por parte de la industria es anual. Además, se espera que cada año aumente el número de industrias que reportan, ya que a partir del 2005 el RETC se convirtió en obligatorio, público y desagregado.

Ninguno de los inventarios analizados aquí utiliza al RETC como fuente de información, lo cual es lamentable pero comprensible, ya que este registro es aún de muy nueva creación.

5.1.7 Campaña Milagro

El Centro Mario Molina, a través de sus esfuerzos concernientes al cambio climático, es una fuente importante de información; especialmente el Proyecto Milagro que empleó técnicas de micrometeorología para estudiar las emisiones y dispersión de CO₂ de una escala local hasta una global (los resultados de este estudio estarán disponibles en marzo del 2008 y su análisis será de la mayor importancia).

5.1.8 Programa voluntario de contabilidad e informe de gases de efecto invernadero (Programa GEI México)

Esta iniciativa ha recibido buena respuesta de la industria y para el año 2006 fueron 30 industrias de todo el país las que reportaron sus emisiones. Cabe destacar que la Estrategia Local de Cambio Climático estimó en 17.18 Mton de CO₂eq para el sector industrial en la ZMCM, mientras que el Programa Voluntario reporta 89.2 Mton de CO₂eq a nivel nacional.

5.1.9 Proyecto Inventario Nacional de Emisiones

A pesar de que este inventario se elabora a nivel nacional, decidió incorporarse en éste análisis ya que contempla sectores bien especificados. De aquí que se recomiende emplear la división y subdivisión de los sectores de este inventario para cualquier inventario futuro.

6 CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

Debido a que la metodología de los inventarios estudiados es prácticamente la misma para todos, la conclusión más importante de esta tesis es sobre las fuentes de información disponibles para el cálculo del nivel de actividad. A continuación se presenta un resumen de las fuentes de información recomendadas para la caracterización y dimensionamiento de cada sector de actividad.

6.1 Fuentes de información recomendadas

Sector transporte. Para este sector, de los anuarios de transporte y vialidad de la *SETRAVI*, *IMP* e *INEGI* se obtiene información relativa al número de vehículos, kilometraje anual, rendimiento de combustible, poder calorífico del combustible, factor holograma, kilometraje diario, y días que el vehículo circula al año.

De *Luz y Fuerza del Centro* y *CFE* se obtienen datos del transporte eléctrico, como el consumo de combustibles para la obtención de la electricidad necesaria para el metro y el tren ligero.

Respecto al transporte aéreo, se puede obtener de la *Subdirección de aeropuertos y servicios auxiliares* el volumen de turbosina y gas avión y el número de operaciones de vuelo por tipos de aeronave.

Para estimar las emisiones de CO₂ provenientes de aeronaves, se recomienda la Metodología para la elaboración del inventario de gases de efecto invernadero asociado al consumo de energía en México, estudio elaborado para la Oficina nacional de mitigación de GEI por el *Instituto de Ingeniería de la UNAM*.

Sector industrial. Se recomienda obtener los datos de la participación económica de la rama industrial de los *Censos industriales y anuarios estadísticos del INEGI*.

El consumo de cada combustible por industria se obtendrá de la *base de datos DATAGEN (COAs) del INE*, en la que hay datos para 3000 industrias en la ZMCM. Otra opción es del consumo de gas natural para el DF y los municipios conurbados de las *empresas distribuidoras* de este combustible, como *Metrogas* y las correspondientes a la zona conurbada. En lo que refiere a la distribución y venta de GLP se sugiere referirse a datos proporcionados por *PEMEX*.

Se sabe que la información de emisiones más certera proviene de las *Cédulas de Operación Anual*, que reportan directamente las industrias, por ello, se recomienda utilizar estos datos siempre que sea posible.

El consumo de electricidad se recomienda sea extraído de los anuarios de *CFE y de Luz y Fuerza del Centro*.

La información concerniente a los combustibles consumidos por los hospitales se recomienda sea obtenida de *la base de datos de recursos materiales de instalaciones médicas de D.D.F., ISSSTE, SSA, IMSS* y para hospitales privados se obtiene a partir del *Gobierno del Distrito Federal y el Estado de México*.

Sector residencial. Los datos de emisión relacionados con la cocción de alimentos, calentamiento de agua con GLP, gas natural y leña; iluminación, refrigeración de alimentos, uso de televisión, planchado y lavado, ventilación y acondicionamiento de aire, se pueden obtener de la Estrategia local de cambio climático (ver sección 4.1.1 y tabla A.5).

El consumo unitario y saturación de electrodomésticos como estufa, calentador de agua, iluminación eléctrica, refrigerador, televisión, aire acondicionado, ventilador, plancha y lavadora de ropa, así como los niveles de electrificación, están disponibles en las *Encuestas Nacionales de Ingreso y Gasto en los Hogares, del INEGI*.

Sector comercial. Los datos para este sector: como la energía consumida y producción total se obtienen de *anuarios estadísticos del INEGI, informes oficiales de PEMEX y Compañía de Luz y Fuerza del Centro*.

Sector público. Las variables necesarias son: número de habitantes, número de viviendas, electricidad consumida por bombeo de agua y el alumbrado público; provenientes de los *reportes oficiales de Gobierno de la Ciudad y de los municipios del estado de México*.

Se recomienda incluir en el inventario de CO₂, las emisiones de este gas provocadas por incendios, utilizando información sobre el número de incendios y tipo de estructura dañada, que puede ser obtenida de *la Dirección General del Heroico Cuerpo de Bomberos* y los factores de emisión del IPCC (EPA).

Sector gobierno. La energía consumida con usos finales como el metro, trolebús, tren ligero, edificios del gobierno central, delegaciones y mercados, instalaciones deportivas, fuentes y semáforos, alumbrado decorativo de edificios históricos, monumentos y para fechas especiales, alumbrado de áreas comunes en habitación popular y servicios directos se obtiene a partir de *reportes oficiales del Gobierno de la Ciudad de México*, así como de los *municipios de la zona conurbada*.

Sector agropecuario. Todos los inventarios estudiados que manejan emisiones de CO₂ del sector agropecuario se refieren a la energía consumida para desempeñar las actividades relacionadas directamente con la agricultura y ganadería, como la electricidad necesaria para el bombeo de agua y riego, y los combustibles utilizados en las actividades mecanizadas. Ésta información se puede obtener a través de *anuarios de la SAGARPA*.

Sector de generación de energía eléctrica. *Luz y Fuerza del Centro* y *CFE* proporcionan la información de consumo de combustibles para la generación bruta de electricidad y las variaciones en el factor de planta, eficiencia y demanda de cada unidad de generación. También se obtienen a partir de las COAs de las

plantas tomadas en cuenta. Los factores de emisión para este sector se recomiendan sean los desarrollados por el ATPAE.

Sector suelo de conservación. Se recomienda la metodología que utiliza la *Estrategia Local de Cambio Climático* (4.1.1) para obtener la biomasa arbórea, la cual requiere del volumen total del árbol que lo proporcionan las *tablas volumétricas del Estado de México*, el factor de expansión de la FAO y el contenido de carbono del IPCC.

Además, se recomienda emplear la cartografía de los tipos de vegetación del suelo de conservación para la ZMCM de la *Secretaría de Medio Ambiente del DF y de los municipios conurbados*.

Para estimar las emisiones de CO₂ por incendios forestales en suelo de conservación, la que requiere de variables como número de incendios, tipo de vegetación, superficie afectada y factor de oxidación se recomienda la metodología del IPCC y los datos de la *Secretaría de Medio Ambiente del DF y de los municipios conurbados*.

Sector residuos sólidos. Se recomienda la metodología por omisión del IPCC, para determinar el potencial total de generación de CO₂ y biogás de rellenos sanitarios. Los datos de composición de los residuos, año de apertura del relleno sanitario, año de clausura, índice de disposición anual, y eficiencia del sistema de recolección de la ZMCM, los posee la *Dirección General de Obras del Gobierno del Distrito Federal* y la *Secretaría de Ecología del Estado de México*. Y, la precipitación promedio anual deberá provenir del *Servicio Meteorológico*.

6.2 Formato de inventario recomendado

Por las fuentes de información que emplea (factores de emisión internacionales y nacionales), así como por el número y características de los sectores que emplea,

la **Estrategia Local de Cambio Climático** se considera el inventario de CO₂ más adecuado para la ZMCM.

La estrategia local presenta de manera explícita la metodología de cálculo empleada y, además, introduce factores de emisión nacionales (ATPAE), que sin duda reflejan mejor las emisiones relacionadas con nuestras actividades.

Por lo anterior, se recomienda generar un inventario con:

- las consideraciones generales de la *Estrategia Local*
- la regularidad de los *Inventarios 2000, 2002 y 2004*, y
- la clasificación industrial empleada por el *inventario de emisiones de GEI asociado al uso de energía*.

6.3 Desarrollo de inventarios

Una vez analizados los inventarios de emisiones de CO₂ de la ZMCM, conviene hacer una reflexión sobre la situación de esta zona en cuanto a los actores y acciones involucradas en la problemática ambiental.

Caso más probable. Se considera que lo más probable es que nuestro país, y en específico la ZMCM, continúe con las actividades emprendidas dentro de los convenios nacionales e internacionales de cambio climático. Y, dentro de estas acciones se seguirán elaborando inventarios nacionales y/o locales cada dos años.

Dentro de la Tercera Comunicación Nacional sobre Cambio Climático, México presentó inventarios bianuales de emisiones para los años 1990 al 2002 (siendo el único país en desarrollo en hacerlo) y estableció una Estrategia Nacional de Cambio Climático (CICC, 2007) y está preparando un Programa Especial de Cambio Climático en respuesta al Plan Nacional de Desarrollo (CICC, 2007).

En 2007, se inició un estudio nacional similar al Informe Stern (Laguna, 2008) y actualmente se conducen amplias relaciones de cooperación con diversos países en materia de cambio climático (Laguna, 2008). Estas acciones, ejercidas a nivel nacional, son el reflejo de lo que se está haciendo, principalmente en los puntos emisores críticos de GEI, como lo es la ZMCM.

Caso ideal. Que México tome una posición líder a nivel mundial y por lo tanto perfeccione sus inventarios de emisiones para GEI. En tal caso la regularidad en la publicación de los inventarios deberá pasar de bianual, como el Inventario 2004, a una base anual, y combinarse con la metodología y fuentes de información de la Estrategia Local de Cambio Climático.

Además, es recomendable introducir las siguientes aportaciones de los inventarios aquí analizados:

Dentro del sector de residuos sólidos, se deberá incluir si estos están en rellenos sanitarios, proceso de manejo que reciben, la captura o no de biogás y la incineración (si existiera).

Para el sector industrial, se deberá considerar la clasificación y datos que reporta el RETC, para las industrias de jurisdicción federal. Además, para el resto de sectores industriales, se recomienda la clasificación presentada en el inventario elaborado por el Grupo de Energía y Ambiente (Inventario de emisiones de GEI asociado al uso de energía), ya que incluye los combustibles que utiliza cada industria.

6.4 Recomendaciones

Considero que la sociedad, en general, está iniciando el camino hacia la sostenibilidad, por lo que debe plantearse una estrategia de educación ambiental fundada en el siguiente principio:

“educar para comprender al hombre y sus sistemas ambientales”.

Se recomienda meditar sobre las ventajas de desarrollar información nacional y comenzar a prescindir de fuentes internacionales. Sin duda, los factores de emisión son elementos de gran importancia en las estimaciones de emisión de GEI, por lo que se recomienda que los inventarios de emisiones futuros desarrollen factores de emisiones propios, ya que se tiene la capacidad para generarlos.

Cabe recordar que el objetivo de esta tesis fue analizar y recomendar un inventario de emisiones de CO₂ para la ZMCM, para que a partir de éste se desarrollen acciones coercitivas, inductivas y proactivas que desemboquen en la reducción de emisiones de GEI y mitiguen así el cambio climático. Inglaterra, por ejemplo, ha demostrado verdadero liderazgo al disminuir sus emisiones 15% entre 1990 y 2002, mientras su economía creció en un 36% (Stern, 2007).

México es uno de los países en desarrollo que más ha participado en acciones efectivas relacionadas con el cambio climático, por ello la importancia de generar información de calidad, que refleje seguridad y confianza, en lo que a emisiones de GEI, en específico CO₂, se refiere.

ANEXO A

ESTRATEGIA LOCAL DE CAMBIO CLIMÁTICO

Las tablas siguientes se obtuvieron directamente de la Secretaría del Medio Ambiente del gobierno del Distrito Federal (SMA, 2004) y es la base para el inventario analizado en el capítulo cuatro (ver sección 4.1.1).

Tabla A.1a Características de la flota vehicular del D.F.

Tipo de Vehículo	Combustibles	Numero de vehículos en el 2000	Kilometraje recorrido diariamente (km/día)	Días que circula al año	Factor de días que si circulan de acuerdo al holograma de la flota	Rendimiento del combustible (km/lt)	Crecimiento de la flota/pbi promedio de 1996 a 2000
Autos							
Particulares	Gasolina	1,648,050	33	313	1.37	8.5	0.94
	Diesel	190	33	313	1.37	8.5	94
	GLP	1,131	33	313	1.37	8.5	0.94
Taxis	Gasolina	103.692	200	313	1.17	8.5	0.00
	GLP	2	200	313	1.17	8.5	0.00
Combis	Gasolina	2,661	200	313	1.00	4.6	-1.01
Microbuses	Gasolina	16,617	200	313	1.00	3.0	-0.98
	Diesel	379	200	313	1.00	3.0	-0.98
	GLP	801	200	313	1.00	3.0	-0.98
	GNC	183	200	313	1.00	3.0	-0.98
Pickups	Gasolina	63,993	60	313	1.32	4.6	0.54
	Diesel	249	60	313	1.32	4.6	0.54
	GLP	406	60	313	1.32	4.6	0.54
Vehiculos < 3 ton	Gasolina	267,470	60	313	1.00	4.6	0 53
	Diesel	12,711	60	313	1.00	2.5	0 53
Tractocamiones	Gasolina	140	60	313	1.17	2.5	0.02
	Diesel	48.916	60	313	1.17	2.5	0.02
	GLP	21	60	313	1.17	2.5	0.02
Autobuses	Gasolina	129	200	313	0.36	2.5	0.46
	Diesel	21,711	200	313	0.36	2.5	0.46
	GLP	26	200	313	0.36	2.5	0.46
Vehiculos > 3 tan	Gasolina	16,739	60	313	1.00	2.5	0.39
	Diesel	3.347	60	313	1.00	2.5	0 39
Motocicletas	Gasolina	78.347	33	313	1.00	15.0	1.07
Camiones Carga	GLP	15,236	60	313	1.17	8.0	1.33
Vehiculos GNC	GNC	999	60	313	0.91	8.0	0.19
Total		2,304,147					

Tabla A.1b Características de la flota vehicular del Estado de México (área conurbada de la ZMCM)

Tipo de vehiculo	Combustibles	Numero de vehículos en el 2000	Kilometraje recorrido diariamente (Km./día)	Días que circula al año	Factor de días que si circulan de acuerdo al holograma de la flota	Rendimiento del combustible (Km./lt)	Crecimiento de la flota/PBI Promedio de 1996 a 2000
Autos							
Particulares	Gasolina	657,424	33	313	1.40	8.5	0.94
	Diesel	76	33	313	1.40	8.5	0.94
	GLP	451	33	313	1.40	8.5	0.94
Taxis	Gasolina	11,992	200	313	1.17	8.5	0.00
	GLP	0	200	313	1.17	8.5	0.00
Combis	Gasolina	15,581	200	313	1.00	4.6	-1.01
Microbuses	Gasolina	10,462	200	313	1.00	3.0	-0.98
	Diesel	238	200	313	1.00	3.0	-0.98
	GLP	505	200	313	1.00	3.0	-0.98
	GNC	116	200	313	1.00	3.0	-0.98
Pickups	Gasolina	76,754	60	313	1.28	4.6	0.54
	Diesel	299	60	313	1.28	4.6	0.54
	GLP	486	60	313	1.28	4.6	0.54
vehículos < 3 ton							
	Gasolina	31,111	60	313	0.97	4.6	0.53
	Diesel	1,479	60	313	0.97	2.5	0.53
Tractocamiones							
	Gasolina	40	60	313	1.17	2.5	0.02
	Diesel	13,784	60	313	1.17	2.5	0.02
	GLP	6	60	313	1.17	2.5	0.02
Autobuses	Gasolina	21	200	313	0.69	2.5	0.46
	Diesel	3,528	200	313	0.69	2.5	0.46
	GLP	4	200	313	0.69	2.5	0.46
vehículos > 3 ton							
	Gasolina	17,548	60	313	1.00	2.5	0.39
	Diesel	3,528	60	313	1.00	2.5	0.39
Motocicletas	Gasolina	10,019	33	313	1.01	15.0	1.07
Camiones							
Carga	GLP	5,605	60	313	1.03	8.0	1.33
vehículos							
GNC	GNC	26	60	313	0.51	8.0	0.19
Total		861063					

Tabla A.2 Poder calorífico de los combustibles

Combustible	CO ₂ Kg/TJ	CH ₄ Kg/TJ	N ₂ O Kg/TJ
Gas natural	56100	50	0.1
Gas licuado	63067	4	
Combustóleo ligero	77367	0.2	0.3
Combustóleo pesado	77367	3.0	0.3
Gasolina	69300	20	0.6
Diesel	74067	5	0.6
Gasóleo	74067	0.2	0.4
Petróleo diáfano	69300	0.2	0.4
Coque	94600	-	1.4
Leña	1 09633	12	15
Carbón bituminoso	94600	0.7	1.6
Querosinas	71867	18	0.2

Tabla A.3 Estructura de la industria en la ZMCM (2000)

	Distrito Federal	Estado de Mexico
MINERIA	0.2%	1.4%
MANUFACTURERA	-	-
Alimentos, bebidas y tabaco	18%	21%
Textiles, prendas de vestir e industria de cuero	8%	8%
Industria de la madera y productos de madera	2%	2%
Papel, productos de papel, imprentas y editoriales	9%	5%
Sustancias químicas, derivados del petróleo, hule y plástico	21%	17%
Minerales no metálicos	3%	6%
Ind. metálicas básicas	2%	4%
Maquinaria y equipo	33%	33%
Otras industrias manufactureras	4%	2%

Tabla A.4 Intensidad energética de la industria en la ZMCM (2000)

		DISTRITO FEDERAL	ESTADO DE MEXICO
1. Minería			
Total	MJ/\$1993	0.002	0.029
Diesel	MJ/\$1993	0.002	0.000
Gasoleo	MJ/\$1993	0.000	0.029
1.1 Industria metalicas basicas			
Total	MJ/\$1993	3,278	4,336
Coque	MJ/\$1993	0.006	0.010
Gas liquado	MJ/\$1993	0.195	0.090
Petroleo diafano	MJ/\$1993	0.000	0.003
Diesel	MJ/\$1993	0.053	2,152
Gasoleo	MJ/\$1993	0.030	0.140
Combustoleo	MJ/\$1993	0.082	0.023
Gas natural	MJ/\$1993	2,910	1,917
1.2 Industria quimica			
Total	MJ/\$1993	0.960	2,433
Coque	MJ/\$1993	0.045	0.054
Gas liquado	MJ/\$1993	0.000	0.000
Petroleo diafano	MJ/\$1993	0.002	0.003
Diesel	MJ/\$1993	0.517	0.110
Gasoleo	MJ/\$1993	0.075	0.019
Combustoleo	MJ/\$1993	0.018	0.063
Gas natural	MJ/\$1993	0.304	2,185
1.3 Industria de la celulosa y papel			
Total	MJ/\$1993	0.320	5,805
Coque	MJ/\$1993	0.042	0.313
Gas liquado	MJ/\$1993	0.001	0.000
Petroleo diafano	MJ/\$1993	0.000	0.006
Diesel	MJ/\$1993	0.008	0.066
Gasoleo	MJ/\$1993	0.120	0.686
Combustoleo	MJ/\$1993	0.002	0.046
Gas natural	MJ/\$1993	0.146	4,688
1.4 Minerales no metalicos			
Total	MJ/\$1993	1,066	3,524
Gas liquado	MJ/\$1993	0.201	0.071
Diesel	MJ/\$1993	0.052	0.092
Gasoleo	MJ/\$1993	0.022	0.053
Combustoleo	MJ/\$1993	0.000	0.900
Gas natural	MJ/\$1993	0.791	2,408
1.5 Productos alimenticios, bebidas y tabacos			
Total	MJ/\$1993	0.694	0.999

Continuación:

		DISTRITO FEDERAL	ESTADO DE MEXICO
Leña	MJ/\$1993	0.000	0.000
Gas licuado	MJ/\$1993	0.058	0.026
Petroleo diafano	MJ/\$1993	0.000	0.000
Diesel	MJ/\$1993	0.090	0.058
Gasoleo	MJ/\$1993	0.025	0.073
Combustoleo	MJ/\$1993	0.004	0.017
Gas natural	MJ/\$1993	0.516	0.825
1.6 Industria textil			
Total	MJ/\$1993	0.304	2,493
Gas licuado	MJ/\$1993	0.031	0.161
Petroleo diafano	MJ/\$1993	0.001	0.000
Diesel	MJ/\$1993	0.064	0.783
Gasoleo	MJ/\$1993	0.120	0.240
Combustoleo	MJ/\$1993	0.007	0.994
Gas natural	MJ/\$1993	0.080	0.314
1.7 Madera y productos de madera			
Total	MJ/\$1993	0.159	0.868
Gas licuado	MJ/\$1993	0.140	0.018
Petroleo diafano	MJ/\$1993	0.000	0.001
Diesel	MJ/\$1993	0.019	0.004
Gasoleo	MJ/\$1993	0.000	0.057
Combustoleo	MJ/\$1993	0.000	0.142
Gas natural	MJ/\$1993	0.000	0.645
1.8 Maquinaria y equipo			
Total	MJ/\$1993	0.300	0.490
Coque	MJ/\$1993	0.000	0.001
Gas licuado	MJ/\$1993	0.101	0.217
Gasolinas	MJ/\$1993	0.000	0.000
Petróleo diáfano	MJ/\$1993	0.001	0.000
Diesel	MJ/\$1993	0.019	0.018
Gasóleo	MJ/\$1993	0.008	0.015
Combustóleo	MJ/\$1993	0.002	0.002
Gas Natural	MJ/\$1993	0.169	0.236
1.9 Otros			
Total	MJ/\$1993	0.021	0.207
Gas licuado	MJ/\$1993	0.003	0.137
Gasolinas	MJ/\$1993	0.000	0.000
Petróleo diáfano	MJ/\$1993	0.000	0.000
Diesel	MJ/\$1993	0.014	0.040
Gasóleo	MJ/\$1993	0.002	0.011
Gas Natural	MJ/\$1993	0.001	0.019

Tabla A.5 Características de equipamiento de las viviendas de la ZMCM (2000)

Coccion de Alimentos		Electrodomesticos	
Consumo Unitario	(GJ/viv*año)	Consumo Unitario	(Kwh/equipo*año)
Leña	40	Refrigerador	550
GLP	9	Aire Condicionado	1600
Gas Natural	9	Televisor	160
Saturacion		Plancha	70
Leña	0.2%	Lavadora de Ropa	120
Gas licuado	92%	Ventilador	88
Gas Natural	7%	Otros	50
Calentamiento de agua		Equipos por Vivienda Equipada	
		Refrigerador	1.0
Consumo Unitario	(GJ/viv*año)	Aire Condicionado	1.0
Leña	30	Televisor	1.5
GLP	12	Plancha	1.1
Gas Natural	12	Lavadora de Ropa	1.0
Saturacion		Ventilador	1.4
Leña	1.5%	Otros	1.0
Gas licuado	54%		
Gas Natural	7%	Saturacion	
		Refrigerador	85%
		Aire Condicionado	2.7%
		Televisor	97%
Iluminacion		Plancha	97%
Consumo Unitario	(Kwh/equipo*año)	Lavadora de Ropa	63%
Electricidad	507	Ventilador	34%
Saturacion		Otros	100%
Electricidad	99.5%		

Fuente: Masera et al (1991)

ANEXO B

ACTUALIZACIÓN Y DESARROLLO METODOLÓGICO DEL BALANCE DE ENERGÍA DE LA ZMCM

La siguiente tabla presenta las características de las plantas de generación eléctrica de la ZMCM, empleadas en el inventario que se presenta y analiza en la sección 4.1.2 de esta tesis.

Tabla B.1 Capacidad de generación eléctrica ZMCM, 2001

Central	Entidad	Municipio	Tipo	Capacidad MW
Fernandez Leal	Edo. de Mexico	Nicolas Romero	Hidroelectrica	1.12
Villada	Edo. de Mexico	Nicolas Romero	Hidroelectrica	0.86
Tlilan	Edo. de Mexico	Nicolas Romero	Hidroelectrica	0.68
Jorge Luque	Edo. de Mexico	Turtitlan	Vapor y turbogas	362
Nonoalco	D.F.	Col. Guerrero	Turbogas	148
Valle de Mexico	Edo. de Mexico	Acolman	Vapor y turbogas	838
Total				1 350.66

ANEXO C

INVENTARIO DEL GEAI

Tabla C.1 Fuentes de información para la estimación del Inventario de GEI en la ZMCM

	Balance PUE	INEGI	CFE	Empresas privadas de Gas Natural	IMP	PEMEX	Datagen-INE	Instituto de Ingeniería (UNAM)	CAM	COMETRAVI
Residencial	Agregado con comercial y público (1996)	Consumo de electricidad y equipamiento de los hogares (1989, 91, 94,96)	Consumo de electricidad por estados	Consumo de gas natural DF, 1999	Consumo de GLP y fugas de GLP			Desagregación de equipamiento para AMCM, 1996	Inventario Gases locales 1996	
Comercial		Consumo de electricidad (Tarifas 1 y 2) (1990-1997)	Consumo de electricidad por estados	Consumo de gas natural DF para todo menos industrial y residencial, 1999					Inventario Gases locales 1996	
Público		Consumo de electricidad (bombeo y alumbrado público) (1990-1997)	Consumo de electricidad por estados							
Transporte	Agregado para autotransporte, y otros modos por combustible (1996)		Consumo metro		Inventario Nal. De GEI			Rendimiento vehicular (estimaciones) a nivel nacional por modo	Inventario Gases Locales 1996.	Flota vehicular por edad por modo. Rendimientos vehiculares
Industrial	Agregado por combustible (1996)	Censos industriales (no utilizados) Consumo de electricidad por municipio y para el DF.	Consumo de electricidad por estados	Consumo de gas natural para DF, 1999			Consumo de energía en unidades físicas para 3000 industrias, 1996.			
Generación eléctrica	Agregado a sector energético (1996)		Consumo de combustibles y generación bruta							
TOTAL	Total por combustibles y sectores (1996)		Consumo de electricidad por estados			Consumo de combustibles				

ANEXO D

REGISTRO DE EMISIONES Y TRANSFERENCIA DE CONTAMINANTES

Tabla D.1 Emisiones de CO₂ de las industrias del Estado de México, dentro de la ZMCM, registradas en el RETC

ESTABLECIMIENTO	MUNICIPIO	Ton/año
Aceros América S.A. De C.V.	Ixtapaluca	20 123.0000
Aceros Corsa S.A. De C.V.	Tlalnepantla de Baz	40 494.8400
Aceros Valuarte S.A. De C.V.	Ecatepec de Morelos	22 947.0000
Ads Composites De México S.A. De C.V.	Tultitlan	229.93
Alta Mecanica Industrial S.A. De C.V	Tlalnepantla de Baz	329.4722
Altana Pharma S.A. De C.V.	Naucalpan de Juarez	7 140.3508
Amercoat Mexicana S.A De C.V.	Tlalnepantla de Baz	373.1932
Astrazeneca S.A. De C.V.	Naucalpan de Juarez	530.813
Basf Coatings De Mexico S.A. De C.V.	Tultitlan	660.6
Bayer De México S. A. De C. V. Unidad Santa Clara	Ecatepec de Morelos	5 503.0080
Bip Plastics S.A. De C.V.	Atizapan de Zaragoza	7 056.1253
Bohler Thyssen Soldaduras S.A. De C.V.	Tlalnepantla de Baz	774.8352
Bostik Mexicana S.A. De C.V.	Naucalpan de Juarez	349.9147
Celulosas Mairo S.A. De C.V.	La Paz	2 396.0000
Central Termoelectrica Valle De Mexico Comision Federal De Electricidad	Acolman	2 337 519.5500
Clariant Productos Quimicos S.A De C.V.	Ecatepec de Morelos	3 774.0000
Comercial Mexicana De Pinturas S. A. De C.V.	Acolman	9 232.7400
Compañía Hulera Tornel S.A De C.V. Planta No.4	Tultitlan	16 089.0000
Compañía Galvanizadora Nacional S.A. De C.V.	Tlalnepantla de Baz	189.1892
Corrugados Y Almbrones De Mexicos.A.Dec.V.	Tultitlan	240.3517
Crisoba Industrial S.A. De C.V.	Ecatepec de Morelos	163 246.3200
Cuprum S.A. De C.V.	Tlalnepantla de Baz	12 135.9000
Daimlerchrysler De México S.A. De C.V.	Toluca	29 405.5680
Decoplas S.A. De C.V.	Cuautitlan Izcalli	3 473.4000

ESTABLECIMIENTO	MUNICIPIO	Ton/año
Dupont Mexico S.A.De C.V. Planta Tlalnepantla	Tlalnepantla de Baz	228.88
Especialidades Industriales Y Quimicas S.A. De C.V.	Tlalnepantla de Baz	2 082.3824
Fabrica De Jabon La Corona S. A. De C. V.	Ecatepec de Morelos	58 744.9400
Fabrica De Papel La Soledad S.A. De C.V.	La Paz	7 638.0000
Fabrica De Papel San Jose S. A. De C. V.	La Paz	39 933.0000
Fabrica De Pinturas Universales S.A. De C.V.	Tlalnepantla de Baz	255.316
Ford Motor Company S.A. De C.V. Planta De Ensamble Cuautitlán	Cuautitlan	4 140.1838
Forjas Metalicas S.A. De C.V.	Ecatepec de Morelos	1 107.7000
Fundiciones Altzairu S.A. De C.V.	Tlalnepantla de Baz	1 213.4680
Gelcaps Exportadora De México S.A. De C.V.	Naucalpan de Juarez	425.1821
Glascomex S.A. De C.V.	Tlalnepantla de Baz	149.3524
Guillermina Rosete Dueñas	Tultitlan	111.54
Hules Banda S.A. De C.V.	Cuautitlan	9 672.5600
Industrias Iem S.A De C.V.	Tlalnepantla de Baz	2 112.7300
Industrias León Sa De C.V.	Naucalpan de Juarez	371.4838
Industrias Petrotec De Mexico S.A. De C.V.	Ecatepec de Morelos	638.9932
Kimberly Clark De Mexico S.A. De C.V.	Naucalpan de Juarez	156 496.6000
Kimex S.A. De C.V.	Tlalnepantla de Baz	34 757.0000
La Cazadora S.A. De C.V.	Tultitlan	549.3571
Laboratorios Mixim S. A De C.V.	Naucalpan de Juarez	110.2842
Mallinckrodt Baker S.A. De C.V.	Ecatepec de Morelos	1 782.9760
Mexicana De Lubricantes S.A. De C.V.	Tultitlan	405.055
Nissan Mexicana S.A. De C.V.	Lerma	1 452.8890
Nueva Fabrica Nacional De Vidrio S.A De C.V	Tultitlan	158 829.3000
Oleotecnica Industrial S.A. De C.V.	Ecatepec de Morelos	4 730.2776
Organo Sintesis, S.A. De C.V.	Capulhuac	1 160.1530
Organon Mexicana S.A. De C.V.	Tlalnepantla de Baz	9 015.6864
Oximetales De Mexico S.A. De C.V.	Nextlalpan	4 031.0000
Papeles Higienicos Del Centro S.A. De C.V.	Ecatepec de Morelos	10 502.3500
Papeles Ultra S. A. De C. V.	Ixtapaluca	538 690.0000

ESTABLECIMIENTO	MUNICIPIO	Ton/año
Pennwalt S.A. De C.V.	Ecatepec de Morelos	2 356.0000
Pfizer S.A. De C.V.	Toluca	1 068.5000
Policyd S.A De C.V.	Tlalnepantla de Baz	12 210.1500
Praxair Mexico S. De R.L. De C.V.	Tlalnepantla de Baz	696.7296
Praxair México S. De R. L. De C. V.	Tultitlan	1 984.0000
Quimica Iberomexicana S.A. De C.V.	Tlalnepantla de Baz	254.7394
Quimica Monsayer S.A. De C.V. Planta Tlalnepantla	Tlalnepantla de Baz	289.7103
Quimir S.A. De C.V.	Tultitlan	80 608.2133
Quimir S.A. De C.V. Planta Lecheria	Tultitlan	15 981.4630
Rassini S.A. De C.V.	Ecatepec de Morelos	349.241
Sanofi Synthelabo De Mexico S.A De C.V	Cuautitlan	177.3826
Sayer Lack Mexicana S.A. De C.V. Planta Tlalnepantla	Tlalnepantla de Baz	157.6677
Schenectady Mexico S.A. De C.V.	Ecatepec de Morelos	1 269.4880
Sigma Alimentos Centro, S.A. De C.V.	Ecatepec de Morelos	14 276.0000
Silicatos Especiales S.A De C.V.	Ecatepec de Morelos	19 842.3700
Sinbiotik S. A. De C. V.	Tlalnepantla de Baz	169.84
Smurfit Carton Y Papel De Mexico S. A. De C. V. Corrugados Los Reyes	Tlalnepantla de Baz	11 846.4000
Smurfit Carton Y Papel De Mexico S.A De C.V	Ecatepec de Morelos	144 391.0000
Smurfit Carton Y Papel De Mexico S.A. De C.V. Div. Corrugado Cerro Gordo	Ecatepec de Morelos	4 743.3130
Smurfit Carton Y Papel De Mexico S.A. De C.V. Div. Corrugado Atlas	Tlalnepantla de Baz	19 714.6187
Smurfit Cartón Y Papel De México S.A. De C.V. División Molino Los Reyes	Tlalnepantla de Baz	36 004.3780
Tecniflex Ansorge De México Y Compañía S. En C.S. De C.V.	Naucalpan de Juarez	280.839
Ti Group Automotive Systems S. De R. L. De C. V.	Tultitlan	439.997
Todo Papel S.A. De C.V.	Ixtapaluca	128.7428
Union Quimica S.A. De C.V.	Ecatepec de Morelos	354.784
Vidriera Los Reyes S.A. De C.V.	Tlalnepantla de Baz	304 669.7703
Volvo Buses De México S.A. De C.V.	Tultitlan	23 974.9493
Vulcanizadora Everest S.A. De C.V.	Tlalnepantla de Baz	711.48

Tabla D.2 Emisiones de CO₂ de las industrias del Distrito Federal registradas en el RETC

ESTABLECIMIENTO	MUNICIPIO	Ton/año
Abbott Laboratories De Mexico S.A. De C.V.	Benito Juarez	4 050.6700
Avon Cosmetics S De R L De C V	Coyoacan	1 183.3100
Bayer De México S. A. De C. V. Unidad Cervantes Saavedra	Miguel Hidalgo	1 275.0296
Bocar S.A. De C.V.	Coyoacan	200.099
Boehringer Ingelheim Promeco S.A De C.V.	Xochimilco	3 406.7416
Bridgestone Firestone De México S.A. De C.V.	Miguel Hidalgo	6 495.5514
Bristol Myers Squibb De México S. De R. L. De C.V.	Coyoacan	1 035.0000
Bristol Myers Squibb De México S. De R.L. De C.V.	Alvaro Obregon	1 204.6800
Cartonajes Estrella S.A. De C.V.	Azcapotzalco	55 016.0000
Cerraduras Y Candados Phillips S.A. De C.V. Planta Pelicano	Gustavo A. Madero	1 194.3936
Cervecería Modelo S.A. De C.V.	Miguel Hidalgo	93 763.7500
Cia. Sherwin Williams S.A. De C.V.	Azcapotzalco	730.08
Colgate Palmolive S.A. De C.V.	Miguel Hidalgo	19 187.0000
Compañía Hulera Tornel S.A. De C.V. Planta 2	Azcapotzalco	8 180.0000
Compañía Hulera Tornel S.A. De C.V. Planta No.5	Miguel Hidalgo	9 680.3000
Compañía Papelera El Fenix S.A. De C.V.	Azcapotzalco	8 432.4270
Cooper Crouse Hinds S.A. De C.V.	Iztapalapa	4 323.2180
Eli Lilly Y Compañía De México Sa De Cv	Coyoacan	4 793.6440
Enthone Omi De Mexico S.A De C.V.	Azcapotzalco	254.46
Extractos Y Maltas S.A.	Azcapotzalco	21 354.7600
Exxonmobil Mexico S.A. De C.V.	Azcapotzalco	583.68
Fermicalse Sa De Cv	Iztapalapa	11 760.0000
Fricciones Tecnicas Y Maquinados, S. A. De C. V. (Planta 1)	Iztapalapa	590.5851
Fricciones Tecnicas Y Maquinados, S.A. De C.V. (Planta 07)	Iztapalapa	128.0865
Fricciones Tecnicas Y Maquinados, S.A. De C.V.,	Iztapalapa	795.7448

ESTABLECIMIENTO	MUNICIPIO	Ton/año
Planta 03		
Grisi Hnos S.A De C.V.	Benito Juarez	499.64
Hercules Mexico S.A De C.V.	Gustavo A. Madero	263.803
High Purity De México S.A. De C.V.	Iztapalapa	694.5514
Jabones Y Perfumes S.A. De C.V.	Miguel Hidalgo	688.4
Lab De Biologicos Y Reactivos De Méx Sa De Cv. Instituto. Nacional De Virologia	Miguel Hidalgo	214.8571
Laboratorios De Biológicos Y Reactivos De México.Instituto Nacional De Higiene	Miguel Hidalgo	627.25
Laboratorios Sanfer S.A. De C.V.	Benito Juarez	122.2287
Laminadora Mexicana De Metales S.A. De C.V.	Miguel Hidalgo	732.091
Lemery S.A. De C.V.	Xochimilco	589.4729
Luck S.A De C.V.	Alvaro Obregon	468.6094
Manufacturera Mexicana Continental S. A. De C. V.	Iztapalapa	177.336
Nacional De Conductores Electricos S.A. De C.V.	Azcapotzalco	5 772.0347
Operadora De Laminadora Vista Hermosa S.A. De C.V.	Iztacalco	1 983.0300
Papelera Iruña S.A. De C.V.	Iztapalapa	25 254.9140
Pemex Refinacion Altace	Gustavo A. Madero	192.087
Procter & Gamble Manufactura S. De R. L. De C. V. Planta Vallejo	Azcapotzalco	37 438.0000
Procter & Gamble Manufactura S.De R.L De C.V	Gustavo A. Madero	9 874.2760
Sanchez S. A. De C. V. Planta Talisman	Gustavo A. Madero	211.34
Schering Plough S.A. De C.V.	Xochimilco	5 820.4550
Vidriera México S.A. De C.V.	Miguel Hidalgo	8 733.3765

ANEXO E

TABLA E.1 Medidas implementadas en PROAIRE 2002-2010

VEHÍCULOS Y TRANSPORTE	1.	Establecimiento y aplicación de límites de emisión más estrictos para vehículos nuevos a gasolina.
	2.	Reducción del contenido de azufre en la gasolina a 50 ppm.
	3.	Mejoramiento continuo del programa de verificación vehicular obligatoria.
	4.	Modernización y actualización del programa hoy no circula como incentivo para la renovación de la flota vehicular.
	5.	Rediseño del programa integral de reducción de emisiones contaminantes.
	6.	Adaptación de sistemas de control de emisiones a vehículos no equipados desde fábrica (RETROFIT).
	7.	Rediseño del programa de detección y retiro de vehículos ostensiblemente contaminantes y unidades sin verificar.
	8.	Renovación de la flota vehicular de transporte de pasajeros de baja capacidad.
	9.	Sustitución del transporte de pasajeros de mediana capacidad por vehículos nuevos de alta capacidad.
	10.	Establecimiento de disposiciones normativas y mecanismos de control para evitar la introducción de vehículos importados fuera de especificaciones ambientales.
	11.	Diseño e instrumentación de un programa de prueba de aditivos y dispositivos anticontaminantes incluyendo un protocolo de pruebas y procedimientos administrativos.
	12.	Establecimiento y aplicación de límites de emisión más estrictos para vehículos nuevos a diesel.
	13.	Reducción del contenido de azufre en el diesel.
	14.	Actualización del programa de verificación de vehículos a diesel a nivel federal y homologación con los Estados Unidos de América y Canadá.
	15.	Instrumentar un programa de sustitución de motores y Trenes motrices de vehículos a diesel y/o retroadaptación de sistemas de control de emisiones.
	16.	Revisión y reforzamiento del programa de autorregulación de vehículos a diesel.
	17.	Diseño, evaluación y/o ejecución de proyectos piloto demostrativos.
	18.	Expansión de la red de estaciones de recarga de gas natural comprimido (GNC).
	19.	Introducción de vehículos eléctricos.
	20.	Establecimiento de corredores de transporte.
	21.	Eliminación de vehículos contaminantes de mayor edad de uso privado.
	22.	Renovación de autobuses de la red de transporte de pasajeros (RTP) y del servicio de transportes eléctricos (b I E).
	23.	Renovación de la flota de transporte de carga local.
	24.	Regulación del horario de circulación para los vehículos de carga.
	25.	Expansión del metro.
	26.	Establecimiento de una red de trenes suburbanos.
	27.	Ampliación de la red de trolebuses y tren ligero.
	28.	Localización de taxis en bases.
	29.	Elaboración de estudios de volúmenes y movilidad en el transporte público de pasajeros en la ZMVM.
	30.	Fomento del uso de combustibles alternativas en vehículos del sistema de transporte público de pasajeros.
	31.	Implantación del registro estatal del transporte público.
	32.	Programa integral para el transporte público de carga.
	33.	Promoción de rutas directas o Express, locales y metropolitanas.
	34.	Modernización de los sistemas de gestión del tránsito metropolitano.
	35.	Promoción de la gestión y coordinación para la pavimentación de vialidades en zonas marginadas de la ZMVM.

	36.	Fomento a la gestión y coordinación para la construcción de anillos y libramientos en la ZMVM.
	37.	Fomentar la coordinación para mejorar la infraestructura vial metropolitana.
	38.	Gestión y coordinación para mejorar la construcción y modernización de los paraderos de la ZMVM.
INDUSTRIA	1.	Reconversión energética en la industria.
	2.	Control de emisiones de contaminantes en el sector industrial.
	3.	Instrumentación de programas de producción mas limpia.
	4.	Consolidación del sistema integrado de regulación de la industria (SIRG).
	5.	Fortalecimiento de los programas de autorregulación en la industria.
	6.	Fortalecer las actividades de inspección y vigilancia en la industria.
	7.	Disminución de emisiones generadas por las plantas de energía eléctrica situadas en la ZMVM.
SERVICIOS	1.	Reducción de emisiones de hidrocarburos en lavanderías de lavado en seco.
	2.	Mecanismos de autorregulación y mejoramiento de la gestión ambiental en pequeños y medianos establecimientos.
	3.	Capacitación en practicas eficientes de combustión en establecimientos comerciales y de servicios que cuenten con calderas.
	4.	Reducción de emisiones por tugas de gas LP en instalaciones domesticas de la ZMVM.
	5.	Verificación de los sistemas de recuperación de vapores instalados en las estaciones de servicio.
	6.	Regulación de las actividades de extracción en bancos de materiales pétreos no consolidados.
	7.	Lineamientos del uso de combustibles y la operación de hornos artesanales para la fabricación de tabique.
	8.	Promover el uso de energía solar en sustitución de combustibles fósiles.
	9.	Promover y desarrollar instrumentos económicos de fomento ambiental para los establecimientos industriales y de servicios en la ZMVM.
CONSERVACIÓN DE RECURSOS NATURALES	1.	Instrumentación de programas de ordenamiento ecológico.
	2.	Refuerzo de los instrumentos legales en materia de uso del suelo.
	3.	Control y ordenamiento de los asentamientos humanos.
	4.	Contención del crecimiento de la mancha urbana en el área rural de la ZMVM.
	5.	Proteger, inspeccionar y vigilar los recursos naturales.
	6.	Mejorar la prevención y combate de incendios forestales.
	7.	Inversión ambiental para la vigilancia social del suelo del área rural de la ZMVM, mediante el pago compensatorio por servicios ambientales.
	8.	Monitoreo del estado de Conservación de los recursos naturales en la ZMVM.
	9.	Manejo de áreas naturales protegidas.
	10.	Programa de recuperación de habitats a través de la plantación de especies adecuadas.
	11.	Saneamiento y restauración de recursos naturales.
	12.	Recuperación, restauración, Conservación y ampliación de las áreas verdes urbanas de la ZMVM.
	14.	Programa de capacitación, instrumentación y establecimiento de esquemas de financiamiento para la producción agropecuaria y forestal sustentable.
	14.	Proyecto de Conservación ecológica de la Zona Metropolitana del Valle de México.
	15.	Programa de recuperación de suelos erosionados en la cuenca oriental del Valle de México.
PROTECCIÓN DE LA SALUD	1.	Modernización y actualización del programa de contingencias ambientales atmosféricas (PCAA).
	2.	Medidas particulares para reducir la exposición de la población a la contaminación del aire.
	3.	Percepción social y comunicación de riesgos.

	4.	Actualización de la evaluación de costos económicos asociados a efectos en salud.
	5	Vigilancia epidemiológica de los efectos de la contaminación atmosférica.
	6.	Creación y revisión de normas de calidad del aire.
	7.	Investigación de efectos de la contaminación atmosférica en la salud en la ZMVM.
	8.	Efectos en la salud asociados con fuentes puntuales de emisión de contaminantes.
EDUCACIÓN AMBIENTAL	1.	Subprograma de educación ambiental formal.
	2.	Subprograma de educación ambiental no formal.
	3	Subprograma de información, formación y capacitación ambiental.
	4.	Subprograma de comunicación y difusión educativa ambiental.
FORTALECIMIENTO INSTITUCIONAL	1	Elaborar la caracterización y diagnóstico de los establecimientos industriales, comerciales y de servicios, ubicados en la ZMVM.
	2	Integración de un comité metropolitano de evaluación y seguimiento de nuevas tecnologías para el control de emisiones atmosféricas.
	3	Elaborar los reglamentos de la Ley Ambiental del Distrito Federal en materia de Fuentes fijas y móviles
	4	Actualización del inventario de emisiones.
	5	Reactivación del fideicomiso ambiental del Valle de México.
	6	Modernización de la red automática de monitoreo atmosférico.
	7	Fortalecimiento del registro de emisiones y transferencia de contaminantes en la ZMVM
	8	Investigación de la calidad del aire en el Valle de México 2002-2010

ANEXO F

Tabla F.1 Programa Voluntario de contabilidad e informe de gases de efecto invernadero

RAMA	EMPRESA	Emisiones CO₂eq.
Petróleo y gas	PEMEX	42,678,514
Cemento	CEMEX México	14,646,709
	Cooperativa La Cruz Azul	3,514,000
	Cementos Moctezuma	2,406,567
	Grupo Cementos de Chihuahua	1,308,000
	Holcim Apasco	5,182,221
	La Farge	108,000
Siderúrgica	Altos Hornos	7,666,754
	De Acero	No entregó reporte
	Grupo IMSA	No entregó reporte
	Mittal Steel Lázaro Cárdenas	3,577,633
	SICARTSA	3,174,070
	Siderúrgica Tultitlán	68,726
	Hierro Recuperado	No entregó reporte
	Instituto de Fundición y Maquinado de Jalisco	No entregó reporte
Automotriz	Ford de México	115,452
	Honda de México	17,208
Vidrio	VITRO	No entregó reporte
Alimentos	Grupo BIMBO	231,890
	Cámara de la industria alimenticia de Jalisco	No entregó reporte
Cerveza	Grupo Modelo	665,591
	Cervecería Cuauhtémoc Moctezuma	164,495
Refrigerantes	Ecofreeze natural refrigerants	No entregó reporte
Universidades	Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey Campus Guadalajara	3,531
Minería	Industria Minera México	No entregó reporte
	Industria Peñoles	1,812,439
	Minera Autlán	756,595
Procesamiento de residuos	Cappy & Asociados	No entregó reporte
	SIMEPRODE	597,135
Industria Química	Boheringer Ingelheim	3,230
	Colgate Palmolive	No entregó reporte
	NHUMO	207,695
	AMANCO México	9,863
	ANAJALSA Agroquímicos	No entregó reporte
Envases de Papel	Tetrapak	11,096
Industria de la construcción	Urbi Desarrollos Urbanos	No entregó reporte
Servicios	Sumitomo Corporation de México	135

RAMA	EMPRESA	Emisiones CO₂eq.
Granjas Porcícolas	Grupo Porcícola Mexicano	228,414
Sector Forestal	Forestaciones Operativas	No entregó reporte
Sector Transporte	Red de Transporte Público del Distrito Federal	No entregó reporte
Maquinaria y Equipos	Caterpillar de México	61,252
	S&C Electric	No entregó reporte
	Industrias John Deere	19,910
	Jonson Controls	No entregó reporte
	Hitachi Global Storage Technologies México	35,477
	Cerraduras TESA	2,422
TOTAL		89,275,024

Mesografía

- 📖 ATPAE, 2004, *Taller sobre combustibles alternativos, energía y calidad del aire*, Asociación de Técnicos y Profesionistas en Aplicación Energética, México, www.atpae.org.mx
- 📖 Bazán G, 2003, *Actualización y desarrollo metodológico del balance de energía de la Zona Metropolitana del Valle de México*, Programa Universitario de Energía, UNAM, México.
- 📖 Bazán G, 2004, *Emisiones de gases de efecto invernadero en la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM)*, Energía a Debate, Fascículo 6, diciembre, México.
- 📖 Bazán G., 2007, Coordinador del Programa Universitario de Energía, UNAM, México, comunicación personal 12 noviembre.
- 📖 Boada M., Toledo V., 2003, *El planeta Nuestro Cuerpo –la ecología, el ambientalismo y la crisis de la modernidad–*, Colección la Ciencia para todos, Fondo de Cultura Económica. México.
- 📖 Bowman J., 2006, *México a punto de publicar datos de contaminación industrial*, Boletín de la Comisión para la Cooperación Ambiental de América del Norte, Comisión para la Cooperación Ambiental de América del Norte, Canadá, en internet: <http://www.cec.org/trio/stories/print.cfm?varlan=ESPAÑOL&ed=18&ID=192>. Fecha de consulta: 8 de noviembre de 2007.
- 📖 Campero E., 1991, *Impacto de los Refrigeradores Domésticos en el Consumo de Energía del Sector Residencial*, en Primera Reunión Internacional sobre Energía y Medio Ambiente en el Sector Residencial Mexicano, Editorial Quintanilla J., UNAM-UC (Berkeley), México D.F.
- 📖 Carson Rachel, 1962, *Silent Spring*, Editoria Penguin, Estados Unidos.
- 📖 Centro Mario Molina, 2006, *Programas Estratégicos, Programa Integral de la Contaminación Urbana, Regional y Global del Aire*, México, en internet: http://www.centromariomolina.org/proy_milagro.html, fecha de consulta: 23 de enero 2008.
- 📖 CICC, 2007, Comisión Intersecretarial de Cambio Climático, SEMARNAT, México.
- 📖 Comisión Ambiental Metropolitana, 1999, *Inventario de Emisiones a la Atmósfera de la Zona Metropolitana del Valle de México 1996*, Secretaría de Medio Ambiente del Distrito Federal y Estado de México, México.
- 📖 Comisión para la Cooperación Ambiental de América del Norte, 2005, *En Balance, Emisiones y transferencias de contaminantes en América del Norte a 2002*, Canadá.
- 📖 Comition for Environmental Cooperation, 2004, *North American Pollutant Releases and Transfer*. Canadá.
- 📖 Conde C., 2007a, *¡Gaia está enferma! Consecuencias ambientales y sociales del calentamiento Global*. Humanidades y Ciencias Sociales. Publicación de la coordinación de Humanidades de la UNAM. Año III, Número 20, México.
- 📖 Conde C., 2007b, *El estudio de las variaciones climáticas permite conocer los impactos sociales y económicos*, “Humanidades y Ciencias Sociales”, Publicación de la coordinación de humanidades de la UNAM, Año III, Número 20, México.

-
- De Buen O., 1993, *Residential Air Conditioning in Northern Mexico: Impacts and Alternatives*, Master's Thesis, Energy and Resources, University of California, Berkeley, Estados Unidos.
- Environmental Protection Agency, *AP- 42 Compilation of Air Pollutant Emission Factors AP-42, Stationary Point and Area Sources* 5th edition, Volumen I, en internet: <http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42.html#chapter>, fecha de consulta: 3 de noviembre 2007.
- Friedman R., 1993, *Mexico's Residential Sector: Main Electric End Uses and Savings Potential*, en *Proceedings of the 1993 ECEEE Summer Study*: Ling R. y Wilhite H, The Energy Efficient Challenge for Europe, The European Council for an Energy Efficient Economy, Oslo, Noruega.
- García J, 1995, *Contaminación del aire: Manejo de información*, ITESM, Campus Estado de México, Diplomado en tecnología y administración ambiental, México.
- Garduño R., 2004, *Sección I. Las Bases Científicas-¿qué es el efecto invernadero?* en *Cambio climático, una visión desde México*, comp.: Fernández A. y Martínez J., Instituto Nacional de Ecología, México.
- Grassl H., Kokott J., Kulesa M. y otros, 2003, *Climate protection strategies for the 21st century: Kyoto and beyond*, Informe especial para el Consejo Asesor Alemán sobre cambio global, WBGU, Alemania.
- Grupo de Energía y Ambiente, 2000, *Inventario de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero asociados a la producción y uso de la energía en la Zona Metropolitana del Valle de México*, Instituto de Ingeniería, UNAM, México.
- Heinke G., Glynn J, 1999, *Ingeniería Ambiental*, Prentice Hall, México.
- Hitz, S y J. Smith, 2004, *Estimating Global Impacts from Climate Change* en J.C. Morlot y S. Agrawala (comps), "The benefits of climate change policies" Organización para la cooperación y desarrollo económico (OCDE), París.
- IMP, 2004, *Análisis Técnico Económico del Impacto Ambiental por el uso del gas natural y gas LP en México*, Instituto Mexicano del Petróleo, México.
- INE, 2000, *Gestión de la Calidad del Aire en el Distrito Federal 1995-2000*, Instituto Nacional de Ecología, Dirección General de Gestión e Información Ambiental, Secretaría del Medio Ambiente, Gobierno del Distrito Federal, México.
- INE, 2006, *Tercera comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático*, Instituto Nacional de Ecología, Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, México.
- INE, 2007a, *Dirección general de investigación sobre la contaminación urbana y regional*, Instituto Nacional de Ecología, en internet: http://www.ine.gob.mx/dgicur/calair/modelos_cal_aire.html, fecha de actualización: 30 de noviembre de 2007.
- INE, 2007b, *Modelos de calidad del aire*. Instituto Nacional de Ecología, en Internet: http://www.ine.gob.mx/dgicurg/calair/anal_impacto.html, fecha de consulta: 11 de septiembre 2007.
- INE, 2007c, *Nota informativa sobre las bases científicas del cambio Climático del cuarto informe de evaluación del panel intergubernamental de cambio climático*, Instituto Nacional de Ecología, México.

-
- 📖 IPCC, 1995, *Guidelines on GHG inventory*, Intergovernmental Panel on Climate Change V.4, UNEP, WMO, OECD, IEA, Reino Unido.
 - 📖 IPCC, 2001, *Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Intergovernmental Panel on Climate Change, Reino Unido.
 - 📖 Jaramillo V., 2004, *Las Bases Científicas. Sección 1. El Ciclo Global del Carbón* en “Cambio Climático, una visión desde México” compiladores Fernández A. y Martínez J., Instituto Nacional de Ecología, México.
 - 📖 Laguna, 2008, *El Impacto de los acuerdos de poskyoto en los países desarrollados y emergentes frente a las opciones de generación de electricidad*, presentado en II Seminario sobre Situación y Perspectivas del Sector Eléctrico en México, Instituto de Investigaciones Económicas, UNAM, 13 al 15 de febrero de 2008. México.
 - 📖 Magaña V., 2007, *Cambio Climático*, Ciencia y Desarrollo. Volumen 33, Número 210, Agosto, México.
 - 📖 Masera O., De Buen O. y Friedmann R., 1991, *Consumo Residencial de Energía en México: Estructura, Impactos Ambientales, Potencial de Ahorro*, en Primera Reunión Internacional sobre Energía y Medio Ambiente en el Sector Residencial Mexicano, Quintanilla J. ed., UNAM-UC (Berkeley), México D.F.
 - 📖 Mejía G., 2002, *Estudio Integral de Calidad del Aire en el Área Metropolitana de Monterrey: Taller de Planeación*, Integrated Program on Urban, Regional and Global Air Pollution, Massachusetts Institute of Technology, Número 2, en internet: http://mce2.org/newsletter/nwsltr_2/espaniol/monterray.htm, fecha de consulta: 3 de noviembre de 2007.
 - 📖 Molina L., Molina M, 2005, *La Calidad del Aire en la Megaciudad de México*, Fondo de Cultura Económica, México.
 - 📖 Molina M, 2005, *Proyecto para el Diseño de una Estrategia Integral de Gestión de la Calidad del Aire en el Valle de México 2001-2010*, Instituto Nacional de Ecología, en internet: <http://www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/gacetitas/282/molina.html>. fecha de actualización: 31 de marzo de 2005.
 - 📖 NMX-AA-023-1986, 1986, *Norma Mexicana, Protección al Ambiente – Contaminación Atmosférica- Terminología*, Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, México.
 - 📖 Quadri G., 2007, *Desarrollo de Proyectos MDL en México: Oportunidades y Riesgos*, presentado en *Mesa redonda sobre Cambio Climático*, Facultad de Ingeniería, UNAM, septiembre, México.
 - 📖 Radian Corporation, 1996, *Manuales del Programa de Inventario de emisiones de México*, Vol. III, Técnicas Básicas de Estimación de Emisiones, México.
 - 📖 Salinas A., 2007, *Preparación de Registros de Emisión y Transferencia de Contaminantes (RETC) en América Latina y el Caribe*, Organization of America States, en internet: <http://www.oas.org/dsd/Quimicos/RegistrosdeEmisi%C3%B3nyTransferenciadeContaminantes.pdf>, fecha de consulta: 7-11-2007

-
- 📖 Schellnhuber, H. J., 2006, *Avoiding dangerous climate change*, Cambridge University Press. Reino Unido.
 - 📖 Schipper L. y Hawk D., 1991, *More Efficient Household Electricity Use: An International Perspective*, *Energy Policy* 19(3), 244-263.
 - 📖 Seinfeld J.H y Pandis S.N, 1998, *Atmospheric chemistry and physics: from air pollution to climate change*, John Wiley and Sons Inc, Estados Unidos.
 - 📖 SEMARNAT, 2002, *Programa para Mejorar la Calidad el Aire de la Zona Metropolitana del Valle de México, PROAIRE 2002-2010*, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Comisión Ambiental Metropolitana, México.
 - 📖 SEMARNAT, 2004a, *Acuerdo por el que se determina el listado de sustancias sujetas a reporte de competencia federal para el registro de emisiones y transferencia de contaminantes*, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México, en internet: <http://www.semarnat.gob.mx/gestionambiental/calidaddelaire/coa/ACUERDO%20listado%20de%20sustancias%20sujetas%20RETC.pdf>. fecha de consulta: 23- 01-08.
 - 📖 SEMARNAT, 2004a, *Acuerdo por el que se determina el listado de sustancias sujetas a reporte de competencia federal para el registro de emisiones y transferencia de contaminantes*, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México, en internet: <http://www.semarnat.gob.mx/gestionambiental/calidaddelaire/coa/ACUERDO%20listado%20de%20sustancias%20sujetas%20RETC.pdf>. fecha de consulta: 23- 01-08.
 - 📖 SEMARNAT, 2004a, *Acuerdo por el que se determina el listado de sustancias sujetas a reporte de competencia federal para el registro de emisiones y transferencia de contaminantes*, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México, en internet: <http://www.semarnat.gob.mx/gestionambiental/calidaddelaire/coa/ACUERDO%20listado%20de%20sustancias%20sujetas%20RETC.pdf>. fecha de consulta: 23- 01-08.
 - 📖 SEMARNAT, 2004b, *Registro de Emisión y Transferencia de Contaminantes, Emisiones Anuales de Sustancias*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México, en internet: <http://app1.semarnat.gob.mx/retc/principal2.html>, fecha de consulta: 12-01-08
 - 📖 SEMARNAT, 2004b, *Registro de Emisión y Transferencia de Contaminantes, Emisiones Anuales de Sustancias*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México, en internet: <http://app1.semarnat.gob.mx/retc/principal2.html>, fecha de consulta: 12-01-08
 - 📖 SEMARNAT, 2005, *Inventario Nacional de Emisiones 1999*, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México, en internet: <http://www.ine.gob.mx/dgicurg/calair/inem1999.html>, fecha de consulta: 4-07-07.
 - 📖 SEMARNAT, 2007a, *Cédula de Operación Anual y Formato Electrónico*, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México, en internet:

-
- <http://www.semarnat.gob.mx/gestionambiental/calidaddelaire/Pages/COA.aspx>, fecha de actualización: 26-09-07.
- 📖 SEMARNAT, 2007b, *México en el Régimen Internacional de Cambio Climático*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México.
 - 📖 SEMARNAT. 2007c. Sistema Nacional de Emisiones. en internet: <http://aplicaciones.semarnat.gob.mx/sine>. Fecha de consulta: 23-01-08.
 - 📖 Seoáñez C. M., 2003, *Tratado de climatología ambiental aplicada a la Ing. Medioambiental*, Ediciones Mundi-Prensa, España.
 - 📖 Sheinbaum C. y Masera O., 2000, *Mitigating Carbon Emissions while Advancing National Development Priorities: The Case of Mexico*, México.
 - 📖 Sheinbaum C., 1996, *Consumo de Energía Residencial en México, UNAM*, México.
 - 📖 Sheinbaum C., 2000, Apoyo a la oficina nacional de mitigación de gases de efecto invernadero –Metodología para la elaboración del inventario de gases de efecto invernadero asociados al consumo de energía en México, Instituto de Ingeniería, UNAM.
 - 📖 Sheinbaum C., Martínez M. y Rodríguez L., 1996, *Trends and Prospects in Mexican Residential Energy Use, Energy 21, 493-504*.
 - 📖 SMA, 2002, *Inventario de Emisiones de la Zona Metropolitana del Valle de México 1998*, Secretaría de Medio Ambiente del Distrito Federal, México.
 - 📖 SMA, 2004, *Estrategia Local de Cambio Climático*, Secretaría de Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal, México.
 - 📖 SMA, 2005, *Inventario de emisiones de la Zona Metropolitana del Valle de México 2002*, Secretaría del Medio Ambiente del Distrito Federal, México.
 - 📖 SMA, 2006, *Gestión Ambiental del Aire en el Distrito Federal, Avances y propuestas 2000-2006*. Secretaría de Medio Ambiente. México.
 - 📖 SMA, 2007a, *Hacia un programa de cambio climático*, Secretaría de Medio Ambiente, México.
 - 📖 SMA, 2007b, *Inventario de emisiones de la Zona Metropolitana del Valle de México 2004*, Secretaría del Medio Ambiente del Distrito Federal, México.
 - 📖 Stern N., 2007, *La verdad sobre el cambio climático*, en “El Informe Stern”, Editorial Paidós, México.
 - 📖 Vega E., Martínez G, 2003, *Estudio Integral de Partículas Atmosféricas en la Ciudad de México*, Instituto Mexicano del Petróleo, México.
 - 📖 Warren R., N. Arnell, R. Nichols, P. Levy y J. Price, 2006, *Understanding the regional impacts of climate change*, Informe de investigación elaborado para el Estudio Stern, Tyndall Centre Working paper 90, Norwich.
 - 📖 WRI, 2005, *The Wealth of the Poor Managing Ecosystems to Fight Poverty*, United Nations Development Programme, United Nations Environment Programme, World Bank & World Resources. Estados Unidos.