



Inventario Nacional
de Emisiones
de Gases de Efecto
Invernadero
1990-2002

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
Instituto Nacional de Ecología

**INVENTARIO NACIONAL
DE EMISIONES DE GASES
DE EFECTO INVERNADERO
1990-2002**

COMITÉ INTERSECRETARIAL SOBRE CAMBIO CLIMÁTICO

Secretarías participantes:

Secretaría de Relaciones Exteriores (SRE)*
Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural,
Pesca y Alimentación (SAGARPA)
Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT)
Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL)
Secretaría de Economía (SE)
Secretaría de Energía (SENER)
Secretaría de Medio Ambiente y
Recursos Naturales (SEMARNAT)*
Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP)**

*Dependencias que coordinan el Comité Intersecretarial sobre Cambio Climático.

** Dependencia invitada.

Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero 1990-2002



Instituto Nacional de Ecología
Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales

Ing. José Luis Luege Tamargo
Secretario de Medio Ambiente y Recursos Naturales

Dr. Adrián Fernández Bremauntz
Presidente del Instituto Nacional de Ecología

Biól. Julia Martínez Fernández
Coordinadora del Programa de Cambio Climático

Ing. Luis Conde Alvarez
*Jefe de Departamento Métodos y Estudios de Mitigación en Materia de
Elaboración de Inventarios de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero*

Periférico Sur 5000, 5° piso, Col. Insurgentes Cuicuilco, Del. Coyoacán, México
D.F., C.P. 04530
Tel.: 54-24-64-18 y 19, Fax: 54-24-54-85
<http://www.ine.gob.mx>
http://cambio_climatico.ine.gob.mx

Resumen

En esta publicación se presenta el Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (INEGEI) para el periodo 1990-2002. Las emisiones en equivalentes de bióxido de carbono para México fueron de 643,183 Gg en el 2002, (con cifras preliminares de Uso de Suelo, Cambio de Uso de Suelo y Silvicultura, USCUS).

El INEGEI 2002 informa sobre las emisiones de las 6 fuentes y sumideros y los 6 gases de efecto invernadero incluidos en el Anexo A del Protocolo de Kioto. En esta edición se estiman por primera vez las emisiones de los gases fluorados (halocarbonos y hexafluoruro de azufre) de la categoría de emisión de Procesos Industriales y las emisiones de la categoría de Solventes, lo que lo convierte en el Inventario más completo preparado a la fecha.

Las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) de 1990 a 1998, que fueron informadas en la Primera y Segunda Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el

Cambio Climático (CMNUCC), se calcularon nuevamente en el presente inventario considerando información actualizada y aplicando factores de emisión mas adecuados a la situación nacional. La actualización del INEGEI 1990 - 2002 viene entonces a sustituir los valores calculados previamente.

Este inventario se estimó en concordancia con las Directrices del Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (PICC) en su versión revisada de 1996 y con la Orientación del PICC sobre las Buenas Prácticas y la Gestión de la Incertidumbre en los inventarios nacionales de GEI publicada en el 2000.

La preparación del INEGEI es un esfuerzo por cumplir con los compromisos adquiridos al firmar (1992) y posteriormente ratificar (1993) la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, misma que entró en vigor para nuestro país el 21 de marzo de 1994.

Palabras clave: Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero INEGEI 2002

Agradecimientos

El Instituto Nacional de Ecología, como órgano de gobierno responsable de la preparación y actualización del Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero 2002, extiende un profundo agradecimiento a las organizaciones e individuos que contribuyeron en la elaboración y revisión de este documento.

El trabajo de recopilación de datos se facilitó gracias a la colaboración recibida por las instituciones de gobierno y dependencias formadas por: la Secretaría de Energía (SENER), la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), la Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL), la Secretaría de Economía (SE) y del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). Además de la colaboración de las empresas Arkema, DuPont, y Quimobásicos, así como de la Asociación Mexicana de la Industria Automotriz (AMIA), la Cámara Nacional del Cemento (CANACEM), la Cámara Nacional de la Industria de la Transformación (CANACINTRA), la

Cámara Nacional de las Industrias Azucarera y Alcohólica (CNIAA) y la Industria Nacional de Autopartes (INA).

La estimación de las emisiones y la posterior integración de los informes de cada categoría de emisión fue posible gracias a la comprometida labor de especialistas del Centro de Investigaciones en Ecosistemas (CIECO-UNAM), el Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico (CENIDET), del Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR), del Colegio de Postgraduados (COLPOS), del Instituto de Ingeniería (UNAM), del Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE), del Instituto Mexicano del Petróleo (IMP), Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) y del Instituto Nacional de Ecología (INE).

La revisión y preparación de la versión final de cada sección del documento se enriqueció gracias a la oportuna y objetiva colaboración de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y

Alimentación (SAGARPA), la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), la Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL), la Secretaría de Economía (SE), la Secretaría de Energía (SENER) y la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT).

El INEGEI 2002 se elaboró con apoyo económico de la United States Environmental Protection Agency

(US-EPA), y del Fondo para el Medio Ambiente Mundial (GEF), a través del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), así como con fondos del Instituto Nacional de Ecología (INE).

El Instituto Nacional de Ecología hace un especial reconocimiento a Juan Carlos Arredondo y a Dick Cuatecontzi por sus aportaciones y su ayuda en la integración de este documento.

Contenido

Resumen

Agradecimientos

Tabla de Contenido

Lista de Tablas

Lista de Figuras

Glosario

Definiciones

RE.1. Resumen Ejecutivo

RE.1.1. Antecedentes del inventario nacional de emisiones de gases de efecto invernadero y cambio climático

RE.1.2. Resumen de la tendencia nacional de las emisiones

RE.1.3. Panorama general de las estimaciones y tendencias de las emisiones por categoría fuente y sumidero

RE.1.3.1. Panorama General

RE.1.3.2. Energía [1]

RE.1.3.3. Procesos Industriales [2]

RE.1.3.4. Solventes [3]

RE.1.3.5. Agricultura [4]

RE.1.3.6. Uso del Suelo, Cambio de Uso de Suelo y Silvicultura [5] (USCUSS) (Preliminar)

RE.1.3.7. Desechos [6]

1. Introducción

1.1. Antecedentes del inventario de emisiones de gases de efecto invernadero y cambio climático

1.2. Arreglos Institucionales

1.2.1. Descripción del proceso de preparación del inventario

- 1.2.2. Descripción de las metodologías y fuentes de datos empleadas
 - 1.3. Plan para el control de calidad y aseguramiento de la información
 - 1.4. Breve descripción de las fuentes clave
 - 1.5. Breve descripción de las incertidumbres
- 2. Tendencias de las emisiones de gases de efecto invernadero**
- 2.1. Tendencias en las emisiones totales de gases de efecto invernadero en CO₂ equivalente
 - 2.1.1. Emisiones de CO₂ equivalente por habitante
 - 2.1.2. Emisiones de CO₂ equivalente por Producto Interno Bruto (PIB)
 - 2.2. Tendencias de las emisiones totales de gases de efecto invernadero por tipo de gas
 - 2.2.1. Emisiones de CO₂
 - 2.2.2. Emisiones de metano
 - 2.2.3. Emisiones de óxido nitroso
 - 2.2.4. Emisiones de hidrofluorocarbonos HFCs
 - 2.2.5. Emisiones de perfluorocarbonos
 - 2.2.6. Emisiones de hexafluoruros de azufre
 - 2.3. Tendencias de las emisiones para los gases de efecto invernadero indirecto
 - 2.4. Comparativo internacional de las emisiones de gases de efecto invernadero de México
- 3. Energía [1]**
- 3.1. Comparación del método de referencia con el método sectorial
 - 3.2. Comparación de las emisiones de gases de efecto invernadero calculadas en este inventario con datos de otros países
 - 3.3. Fuentes Fijas de Combustión [1A]
 - 3.3.1. Industrias Energéticas [1A1]
 - 3.3.2. Industrias de Manufactura y Construcción [1A2]
 - 3.3.3. Sector Comercial, Residencial y Agropecuario [1A4a, 1A4b, y 1A4c]
 - 3.3.4. Resumen de Emisiones de las Fuentes Fijas de Combustión [1A1, 1A2, 1A4a, 1A4b, y 1A4c]
- 4. Procesos Industriales [2]**
- 4.1. Producción de cemento [2A1]
 - 4.2. Producción de cal [2A2]
 - 4.3. Utilización de piedra caliza y de dolomita [2A3]
 - 4.4. Producción y utilización de carbonato de sodio [2A4]
- 3.4. Transporte [1A3]
 - 3.4.1. Transporte Automotor [1A3a]
 - 3.4.2. Transporte Aéreo [1A3b]
 - 3.4.3. Transporte Marítimo [1A3d]
 - 3.4.4. Transporte Ferroviario [1A3c]
 - 3.4.5. Resumen de Emisiones en el sector transporte [1A3, 1A3a, 1A3b, 1A3c, y 1A3d]
 - 3.5. Emisiones Fugitivas de Metano en Minas de Carbón y en Petróleo y Gas Natural [1B]
 - 3.5.1. Minas de Carbón [1B1]
 - 3.5.2. Petróleo y Gas Natural [1B2]
 - 3.5.3. Resumen de Emisiones Fugitivas en Minas de Carbón y en Petróleo y Gas Natural [1B1 y 1B2]
 - 3.6. Resumen de las Emisiones de Gases de Efecto Invernadero y Precursores del Ozono en la Categoría de Energía [1]
 - 3.7. Emisiones del Transporte Internacional Aéreo y Marítimo.
 - 3.8. Análisis de Incertidumbre en la Categoría de Energía
 - 3.8.1. Fuentes Fijas de Combustión
 - 3.8.2. Transporte
 - 3.8.3. Emisiones Fugitivas en Minas de Carbón y Actividades del Petróleo y Gas Natural

- 4.5. Productos minerales varios
 - 4.5.1. Material asfáltico para techos [2A5]
 - 4.5.2. Pavimentación asfáltica [2A6]
 - 4.5.3. Hormigón de piedra pómez
 - 4.5.4. Producción de vidrio [2A7]
 - 4.6. Producción de amoníaco [2B1]
 - 4.7. Producción de ácido nítrico [2B2]
 - 4.8. Producción de ácido adípico [2B3]
 - 4.9. Producción de carburos [2B4]
 - 4.9.1. Producción de carburo de silicio
 - 4.9.2. Producción de carburo de calcio
 - 4.10. Producción de otras sustancias químicas [2B5]
 - 4.11. Producción de metales [2C]
 - 4.11.1. Hierro y acero [2C1]
 - 4.11.2. Ferroaleaciones [2C2]
 - 4.11.3. Aluminio [2C3]
 - 4.12. Industria de la pulpa y el papel [2D1]
 - 4.13. Producción de alimentos y bebidas [2D2]
 - 4.14. Emisiones relacionadas con la producción de halocarburos (HFC, PFC) y hexafluoruro de azufre (SF₆) [2E]
 - 4.15. Emisiones relacionadas con el consumo de halocarburos (HFC, PFC) y hexafluoruro de azufre (SF₆) [2F]
 - 4.15.1. Consumo de HFCs
 - 4.15.2. Consumo de SF₆
 - 4.16. Resumen de emisiones de GEI y discusión de resultados
 - 4.17. Conclusiones y recomendaciones
- 5. Solventes [3]**
- 5.1. Productos químicos con emisiones de solventes
 - 5.1.1. Barnices
 - 5.1.2. Esmaltes
 - 5.1.3. Lacas
 - 5.1.4. Pinturas solubles en agua sin agregados minerales
 - 5.1.5. Pinturas solubles en agua con agregados minerales
 - 5.1.6. Pinturas con solventes
 - 5.1.7. Selladores, tintes y bases y fondos
 - 5.1.8. Adhesivos a base de resinas
 - 5.1.9. Impermeabilizantes
 - 5.1.10. Tintas para impresión y escritura
 - 5.1.11. Solventes y removedores
- 5.2. Tabla resumen de emisiones de COVDM por Solventes
- 5.3. Conclusiones y recomendaciones
- 6. Agricultura [4]**
- 6.1. Fermentación entérica [4A] y manejo de estiércol [4B] en ganadería
 - 6.1.1. Datos de Actividad
 - 6.1.2. Factores de emisión
 - 6.1.3. Metodología
 - 6.1.4. Incertidumbre
 - 6.1.5. Resultados
 - 6.1.6. Discusión de Resultados
 - 6.2. Cultivos
 - 6.2.1. Cultivo de arroz [4C]
 - 6.2.2. Quema de residuos agrícolas [4F]
 - 6.2.3. Suelos agrícolas [4D]
 - 6.2.4. Fertilizantes
 - 6.2.5. Cultivos no fijadores y fijadores de nitrógeno
 - 6.2.6. Metodología
 - 6.2.7. Factores de emisión
 - 6.2.8. Incertidumbres
 - 6.2.9. Resultados
 - 6.2.10. Discusión de resultados
 - 6.3. Resumen
 - 6.3.1. Ganado
 - 6.3.2. Cultivos
 - 6.3.3. Total del sector
 - 6.4. Conclusiones y recomendaciones
- 7. Uso de suelo, cambio de uso del suelo y silvicultura [5]**
- 7.1. Información de las Actividades
 - 7.1.1. Cambios de Biomasa en Bosques y otros tipos de vegetación leñosa

- 7.1.2. Bióxido de carbono proveniente de la conversión de Bosques y Pastizales
 - 7.1.3. Emisiones de gases traza distintos al CO₂ derivados de la combustión in situ de la biomasa forestal
 - 7.1.4. Abandono de las áreas manejadas
 - 7.1.5. Cambios en el carbono de los suelos minerales
 - 7.1.6. Carbono del suelo en áreas impactadas por la agricultura
 - 7.1.7. Emisiones de carbono por el manejo intensivo de suelos orgánicos
 - 7.1.8. Emisiones de carbono por encalado de suelos agrícolas
 - 7.2. Método
 - 7.2.1. Cambios de Biomasa en Bosques y otros tipos de vegetación leñosa
 - 7.2.2. Bióxido de carbono proveniente de la conversión de Bosques y Pastizales
 - 7.2.3. Emisiones de gases traza distinto al CO₂ derivados de la combustión in situ de la biomasa forestal
 - 7.2.4. Abandono de las áreas manejadas
 - 7.2.5. Cambios en el carbono de los suelos minerales
 - 7.2.6. Carbono del suelo en áreas impactadas por la agricultura
 - 7.2.7. Emisiones de carbono por encalado de suelos agrícolas
 - 7.3. Resultados
 - 7.3.1. Cambios de Biomasa en Bosques y otros tipos de vegetación leñosa
 - 7.3.2. Bióxido de carbono proveniente de la conversión de Bosques y Pastizales
 - 7.3.3. Emisiones de gases traza distintos al CO₂ derivados de la combustión in situ de la biomasa forestal
 - 7.3.4. Abandono de las áreas manejadas
 - 7.3.5. Cambios en el carbono de los suelos minerales
 - 7.3.6. Carbono del suelo en áreas impactadas por la agricultura
 - 7.3.7. Emisiones de carbono por encalado de suelos agrícolas
 - 7.3.8. Resumen de Resultados
 - 7.4. Conclusiones
 - 7.4.1. Cambios de Biomasa en Bosques y otros tipos de vegetación leñosa
 - 7.4.2. Bióxido de carbono proveniente de la conversión de Bosques y Pastizales
 - 7.4.3. Emisiones de gases traza distintos al CO₂ derivados de la combustión in situ de la biomasa forestal
 - 7.4.4. Abandono de las áreas manejadas
 - 7.4.5. Cambios en el carbono de los suelos minerales
 - 7.4.6. Carbono del suelo en áreas impactadas por la agricultura
 - 7.4.7. Emisiones de carbono por encalado de suelos agrícolas
 - 7.5. Recomendaciones
- 8. Desechos [6]**
- 8.1. Datos de actividad
 - 8.1.1. Residuos Sólidos Municipales [6A]
 - 8.1.2. Aguas Residuales [6B]
 - 8.1.3. Incineración de Residuos Peligrosos y Hospitalarios [6C]
 - 8.2. Metodología
 - 8.3. Incertidumbres
 - 8.4. Resultados
 - 8.5. Discusión de resultados
 - 8.5.1. Residuos sólidos municipales
 - 8.5.2. Aguas residuales municipales
 - 8.5.3. Aguas residuales industriales

- 8.5.4. Incineración de residuos peligrosos
- 8.6. Comparación de las emisiones de RSU con otros estimados.
- 8.7. Conclusiones y recomendaciones

- B.4.1. Residuos Sólidos Municipales.
- B.4.2. Aguas Residuales Municipales.
- B.4.3. Aguas Residuales Industriales.
- B.4.4. Emisiones de CO₂ y N₂O Resultantes de la Incineración de Residuos Peligrosos.

Referencias

Apéndice A

Apéndice B

- B.1. Energía
- B.2. Procesos Industriales
- B.3. Agricultura
- B.3. Desechos

Apéndice C

- Evaluación por Nivel
- Evaluación por Tendencia

Apéndice D

- Información del Documento

Lista de Tablas

- Tabla RE.1 Categorías de emisión del PICC
- Tabla RE.2 Potencial de Calentamiento Global de gases de efecto invernadero
- Tabla RE.3 Emisiones en Gg en CO₂ equivalente para el periodo 1990-2002
- Tabla RE.4 Subcategorías de energía
- Tabla RE.5 Emisiones de GEI de la categoría Energía (Gg)
- Tabla RE.6 Emisiones de GEI de la categoría Energía por tipo de gas en CO₂ equivalente
- Tabla RE.7 Subcategorías de Procesos Industriales
- Tabla RE.8 Emisiones de GEI por gas de categoría Procesos industriales para período 1990-2002, Gg
- Tabla RE.9 Emisiones de GEI por gas, de categoría Procesos Industriales para el período 1990-2002, Gg en equivalentes de CO₂
- Tabla RE.10 Emisiones de COVDM por sector de la categoría Solventes para período 1990-2002, Gg
- Tabla RE.11 Subcategorías de Agricultura
- Tabla RE.12 Emisiones de metano (CH₄) y óxido nítrico (N₂O) de la categoría Agricultura, Gg de CO₂ equivalente
- Tabla RE.13 Subcategorías de USCUS
- Tabla RE.14 Subcategorías de Desechos
- Tabla 1.1 Roles y actividades de los participantes en el desarrollo del INEGEI 2002
- Tabla 1.2 Arreglos institucionales para recolección de información
- Tabla 1.3 Proceso del Inventario
- Tabla 1.4 Notación del PICC para registro de metodología usada
- Tabla 1.5 Notación del PICC para registro del factor de emisión usado
- Tabla 1.6 Principales fuentes de datos consultadas durante la preparación del Inventario

- Tabla 1.7 Lineamientos del plan de calidad de la COP
- Tabla 1.8 Lineamientos para el plan de calidad de la OSACT
- Tabla 1.9 Evaluación de fuentes clave por nivel para 2002
- Tabla 1.10 Evaluación de fuentes clave por tendencia para 2002
- Tabla 1.11 Incertidumbre total del inventario y por categoría
- Tabla 2.1 Emisiones en Gg de gases de efecto invernadero indirecto
- Tabla 2.2 Países que representan el 95% de las emisiones globales de CO₂ generadas en la quema de combustibles fósiles [1A], 2003
- Tabla 3.1 Categorías definidas por el PICC
- Tabla 3.2 Comparación de las Emisiones de CO₂ estimadas por los dos métodos, el de Referencia y el Sectorial (Gg)
- Tabla 3.3 Consumo de biomasa (bagazo de caña y leña) en el Sector Industrial y Residencial PJ
- Tabla 3.4 Evolución del consumo de combustibles y de productos no energéticos (lubricantes) en las industrias energéticas (PJ)
- Tabla 3.5 Evolución del consumo de combustibles para la generación de electricidad (PJ)
- Tabla 3.6 Factores de Emisión para las Industrias Energéticas, por tipo de combustible
- Tabla 3.7 Factor de Emisión de SO₂ en kg/TJ para cada combustible por año
- Tabla 3.8 Emisiones de las Industrias Energéticas (Gg)
- Tabla 3.9 Evolución de las emisiones de gases de efecto invernadero para el periodo 1990-2002 en las industrias Energéticas, en unidades de Gg de CO₂ equivalente
- Tabla 3.10 Consumo de combustibles en las Industrias de Manufactura y Construcción (PJ)
- Tabla 3.11 Consumo de combustibles en las Industrias de Manufactura y Construcción (PJ) (continuación)
- Tabla 3.12 Factores de Emisión para las Industrias de Manufactura y Construcción, por tipo de combustible (kg/TJ)
- Tabla 3.13 Emisiones de las Industrias de Manufactura y Construcción (Gg)
- Tabla 3.14 Evolución de las emisiones de gases de efecto invernadero para el periodo 1990-2002 en las industrias de Manufactura y Construcción, en unidades de Gg de CO₂ equivalente
- Tabla 3.15 Consumo de combustibles y biomasa en los sectores, residencial, comercial, y agropecuario (PJ)
- Tabla 3.16 Factores de emisión por tipo de combustible para el sector residencial (kg/TJ)
- Tabla 3.17 factores de emisión por tipo de combustible y tipo de tecnología para el sector comercial (kg/TJ)
- Tabla 3.18 Factores de emisión por tipo de combustible y tipo de fuente para el sector agropecuario
- Tabla 3.19 Factores de Emisión de los gases CH₄, N₂O, CO, NO_x, COVDM, SO₂ por tipo de combustible y por sector (kg/TJ)
- Tabla 3.20 Contenido de Azufre de los combustibles
- Tabla 3.21 Valor Calorífico Neto (VCN) de los combustibles (TJ/kt)
- Tabla 3.22 valores de las densidades de los combustibles utilizados son los siguientes
- Tabla 3.23 Emisiones de los sectores, residencial, comercial, y agropecuario (Gg)
- Tabla 3.24 Evolución de las emisiones de gases de efecto invernadero para el periodo 1990-2002 en los sectores, residencial, comercial, y agropecuario, en unidades de Gg de CO₂ equivalente
- Tabla 3.25 Emisiones Gases de Efecto Invernadero y Precursores del Ozono en Fuentes Fijas de Combustión en el periodo 1990-2002 (Gg)

- Tabla 3.26 Emisiones Gases de Efecto Invernadero de las Fuentes Fijas de Combustión, en Gg CO₂ Equivalente
- Tabla 3.27 Datos de la incertidumbre asociada a los datos de actividad y a los factores de emisión (%) para las Fuentes Fijas de Combustión
- Tabla 3.28 Consumo de combustibles en el Transporte Automotor, periodo 1990-2002 (PJ)
- Tabla 3.29 Factores de emisión de gases de efecto invernadero y precursores del ozono en Transporte Automotor (kg/TJ)
- Tabla 3.30 Factores de Emisión de SO₂ para el Transporte Automotor (kg/TJ)
- Tabla 3.31 Emisiones GEI y Precursores del Ozono del Transporte Automotor (Gg)
- Tabla 3.32 Emisiones GEI del Transporte Automotor en unidades en Gg de CO₂ equivalente
- Tabla 3.33 Operaciones del Transporte Aéreo en México
- Tabla 3.34 Número de Ciclos LTO del Transporte Aéreo en México
- Tabla 3.35 Consumo de Combustible en el Transporte Aéreo en México
- Tabla 3.36 Consumo de combustible y factores de emisión por defecto para la aviación
- Tabla 3.37 Emisiones GEI y Precursores del Ozono del Transporte Aéreo (Gg)
- Tabla 3.38 Consumo de Combustibles en Transporte Marítimo Nacional (PJ)
- Tabla 3.39 Factores de Emisión para Transporte Marítimo (kg/TJ)
- Tabla 3.40 Factores de Emisión de SO₂ para Transporte Marítimo (kg/TJ)
- Tabla 3.41 Emisiones GEI y Precursores del Ozono del Transporte Marítimo (Gg)
- Tabla 3.42 Consumo de Combustibles en el Transporte Ferroviario (PJ)
- Tabla 3.43 Factores de Emisión para Transporte Ferroviario (kg/TJ)
- Tabla 3.44 Factores de Emisión de SO₂ para los combustibles consumidos en el Transporte Ferroviario
- Tabla 3.45 Emisiones GEI y Precursores del Ozono del Transporte Ferroviario (Gg)
- Tabla 3.46 Emisiones GEI y Gases Precursores del Ozono del Sector Transporte en el periodo 1990-2002
- Tabla 3.47 Emisiones GEI del Sector Transporte, en Gg CO₂ Equivalente
- Tabla 3.48 Datos de Incertidumbre para los datos de actividad, y factores de emisión (%)
- Tabla 3.49 Producción de Carbón en Bruto y Tratado, en Minas Subterráneas y a Cielo Abierto (kt)
- Tabla 3.50 Factores de Emisión por defecto para el minado y manipulación del carbón (m³/t)
- Tabla 3.51 Emisiones Fugitivas de Metano en el Minado y Manipulación del Carbón (Gg)
- Tabla 3.52 Incertidumbre en el minado y manipulación del carbón
- Tabla 3.53 Datos de Actividad para las Actividades del Petróleo y el Gas Natural (PJ)
- Tabla 3.54 Factores de Emisión de Metano para Actividades de Petróleo y Gas Natural (kg/PJ)
- Tabla 3.55 Factores de Emisión de los Precursores del Ozono de la Refinación del Petróleo (kg/m³ de petróleo refinado)
- Tabla 3.56 Emisiones de Metano en las Actividades del Petróleo y Gas Natural (Gg)
- Tabla 3.57 Emisiones de Metano en Actividades de Petróleo y Gas Natural, expresadas en Gg de CO₂ equivalente
- Tabla 3.58 Incertidumbre en las actividades y factores de emisión de petróleo y gas natural

- Tabla 3.59 Emisiones Fugitivas de Precursores del Ozono en la Refinación del petróleo (Gg)
- Tabla 3.60 Emisiones Fugitivas de Metano en Minas de Carbón y en Petróleo y Gas natural, (Gg)
- Tabla 3.61 Emisiones Fugitivas de Metano en Minas de Carbón y en Petróleo y Gas Natural (Gg CO₂ equivalente)
- Tabla 3.62 Emisiones de Gases de Efecto Invernadero y Precursores del Ozono de la Categoría de Energía (Gg)
- Tabla 3.63 Emisiones de gases de Efecto Invernadero de la Categoría de Energía, en unidades de (Gg de CO₂ equivalente)
- Tabla 3.64 Consumo de combustibles en Transporte Aéreo y Marítimo Internacional (PJ)
- Tabla 3.65 Emisiones de Gases de Efecto Invernadero y Precursores del Ozono en Bunker Internacional (Gg)
- Tabla 3.66 Grado de incertidumbre asociada a los datos de actividad de las fuentes fijas de combustión
- Tabla 3.67 Grado de incertidumbre de los factores de emisión de los gases distintos al CO₂ de las fuentes fijas de combustión
- Tabla 3.68 Datos de Entrada para Calcular la Incertidumbre en transporte por Método de Nivel 1
- Tabla 4.1 Producción total de Cemento, por tipos y producción estimada de clínica, toneladas
- Tabla 4.2 Producción total de Clinca, toneladas, y emisiones de CO₂ y SO₂
- Tabla 4.3 Factores de emisiones reportados por la Cámara Nacional del Cemento
- Tabla 4.4 Producción de cal por tipo, toneladas
- Tabla 4.5 Emisión de CO₂ en la producción de cal, Gg
- Tabla 4.6 Producción de piedra caliza y de dolomita, toneladas
- Tabla 4.7 Importación de dolomita, toneladas
- Tabla 4.8 Utilización de piedra caliza y de dolomita para la producción de cal, toneladas
- Tabla 4.9 Resumen de la utilización de piedra caliza y de dolomita, toneladas
- Tabla 4.10 Utilización de piedra caliza y de dolomita, toneladas
- Tabla 4.11 Emisión de CO₂ por la utilización de piedra caliza y de dolomita, Gg
- Tabla 4.12 Producción de carbonato de sodio, miles de toneladas
- Tabla 4.13 Emisión de CO₂ en la producción de carbonato de sodio por proceso natural
- Tabla 4.14 Emisiones de CO₂ a partir de la utilización de carbonato de sodio
- Tabla 4.15 Factores de emisión para la producción de material asfáltico para techos (kg/tonelada de producto)
- Tabla 4.16 Factores de emisión para el proceso de soplado del asfalto (kg/tonelada de producto)
- Tabla 4.17 Producción total de Material asfáltico para techos, toneladas
- Tabla 4.18 Producción total de Concreto asfáltico para pavimentación, toneladas
- Tabla 4.19 Producción total de vidrio, toneladas
- Tabla 4.20 Emisiones de CO₂ en la producción de amoníaco
- Tabla 4.21 Emisiones de CO₂, CO y SO₂ a partir de la producción de amoníaco
- Tabla 4.22 Emisiones Producción de ácido nítrico, toneladas
- Tabla 4.23 Emisión de N₂O y NO_x procedente de la producción de ácido nítrico, Gg
- Tabla 4.24 Importación y exportación de Ácido Adípico, kilogramos
- Tabla 4.25 Factores de emisión para el CO₂ procedente de la producción de Carburo de Calcio
- Tabla 4.26 Producción de Carburo de Calcio, toneladas
- Tabla 4.27 Producción de otros productos químicos, toneladas

- Tabla 4.28 Producción en las Industrias Químicas, toneladas
- Tabla 4.29 Emisión de CH₄ procedente de la fabricación de otros productos químicos, Gg
- Tabla 4.30 Emisiones de COVDM procedentes de diversos procesos de producción en la industria Química, Gg
- Tabla 4.31 Emisiones de NO_x, procedentes de diversos procesos de producción en la Industria Química, Gg
- Tabla 4.32 Emisiones de CO procedentes de diversos procesos de producción en la Industria Química, Gg
- Tabla 4.33 Emisiones de SO₂ procedentes de diversos procesos de producción en la Industria Química, Gg
- Tabla 4.34 Consumo de agente reductor para la producción de hierro y acero, toneladas
- Tabla 4.35 Producción de hierro bruto por proceso, toneladas
- Tabla 4.36 Producción de acero crudo por proceso, toneladas
- Tabla 4.37 Emisiones de CO₂ procedente de la producción de hierro y acero, Gg
- Tabla 4.38 Producción de laminados en frío, toneladas
- Tabla 4.39 Emisión de NO_x procedente de la producción de hierro y acero, Gg
- Tabla 4.40 Emisión de COVDM procedente de la producción de hierro y acero, Gg
- Tabla 4.41 Emisión de CO procedente de la producción de hierro y acero, Gg
- Tabla 4.42 Emisión de SO₂ procedente de la producción de hierro y acero, Gg
- Tabla 4.43 Resumen de emisiones procedentes de la producción de hierro y acero, Gg
- Tabla 4.44 Producción de ferroaleaciones, toneladas
- Tabla 4.45 Emisión de CO₂ procedente de la producción de ferroaleaciones, Gg
- Tabla 4.46 Producción de aluminio, toneladas
- Tabla 4.47 Emisión de CO₂ procedente de la producción de aluminio, Gg
- Tabla 4.48 Emisiones de CF₄ y C₂F₆ procedentes de la producción de aluminio, Gg
- Tabla 4.49 Emisiones de CF₄ procedente de la producción de aluminio, gigagramos de CO₂ equivalente y en Millones de Toneladas de Carbono Equivalente (MMTCE, siglas en inglés)
- Tabla 4.50 Emisiones de C₂F₆ procedente de la producción de aluminio, gigagramos de CO₂ equivalente y en Millones de Toneladas de Carbono Equivalente (MMTCE, siglas en inglés)
- Tabla 4.51 Emisión de NO_x procedente de la producción de aluminio, gigagramos
- Tabla 4.52 Emisión de CO procedente de la producción de aluminio, Gg
- Tabla 4.53 Emisión de SO₂ procedente de la producción de aluminio, Gg
- Tabla 4.54 Producción de pulpa de papel a partir del proceso kraft
- Tabla 4.55 Emisiones de NO_x, COVDM, CO y SO₂ a partir de la producción de pulpa de papel seco
- Tabla 4.56 Factores de Emisión para los COVDM procedentes de la producción de bebidas alcohólicas (kg/Hl de bebidas)
- Tabla 4.57 Factores de Emisión para los COVDM procedentes de la panificación y la elaboración de otros alimentos (kg/tonelada)
- Tabla 4.58 Producción total de bebidas alcohólicas, (HL)
- Tabla 4.59 Producción total: Panificación y otros alimentos, toneladas
- Tabla 4.60 Importación de HFCs, toneladas
- Tabla 4.61 Exportación de HFCs, toneladas
- Tabla 4.62 Consumo nacional de HFCs, toneladas
- Tabla 4.63 Emisiones potenciales de halocarburos, toneladas
- Tabla 4.64 Consumo nacional de SF₆ en Kg

- Tabla 4.65 Emisiones de SF₆ en toneladas
- Tabla 4.66 Resumen de emisiones de CO₂ a partir de procesos industriales en México, Gg
- Tabla 4.67 Resumen de emisiones de SO₂ a partir de Procesos Industriales, Gg
- Tabla 4.68 Resumen de emisiones de COVDM a partir de Procesos Industriales, Gg
- Tabla 4.69 Resumen de emisiones de CO a partir de Procesos Industriales, Gg
- Tabla 4.70 Resumen de emisiones de NO_x a partir de Procesos Industriales, Gg
- Tabla 4.71 Resumen de emisiones de los diferentes gases de efecto invernadero, primarios y secundarios por procesos industriales, 1990-2002, Gg
- Tabla 5. 1 Emisiones de COVDM a partir de barnices
- Tabla 5. 2 Emisiones de COVDM a partir de la producción de esmaltes
- Tabla 5. 3 Emisiones de COVDM derivadas de la producción anual de lacas
- Tabla 5. 4 Emisiones de COVDM a partir de pinturas solubles en agua sin agregados minerales
- Tabla 5. 5 Emisiones de COVDM a partir de pinturas solubles en agua con agregados minerales
- Tabla 5. 6 Emisiones de COVDM a partir de pinturas con solvente
- Tabla 5. 7 Emisiones de COVDM derivados de productos como bases y fondos tintes colorantes y selladores
- Tabla 5. 8 Emisiones de COVDM a partir de adhesivos a base de resinas
- Tabla 5. 9 Emisiones de COVDM derivados de impermeabilizantes
- Tabla 5. 10 Emisiones de COVDM a partir de tintas para imprenta
- Tabla 5. 11 Emisiones de COVDM a partir de solventes y removedores
- Tabla 5. 12 Resumen de las emisiones en Gg, de COVDM derivados de los solventes en diferentes productos
- Tabla 6.1 Número de cabezas de animales en México en el periodo de 1990-2002.
- Tabla 6.2 Emisiones de metano de la sección ganadera, expresadas en Gg, para el periodo 1990-2002 en México
- Tabla 6.3 Superficie de arroz cosechada para el periodo 1990-2002 en México
- Tabla 6.4 Producción de caña de azúcar industrial para el periodo 1990-2002 en México
- Tabla 6.5 Consumo nacional de fertilizantes nitrogenados para el periodo 1990-2002
- Tabla 6.6 Producción de los cultivos fijadores y no fijadores de nitrógeno para el periodo 1990-2002 en México
- Tabla 6.7 Emisiones, expresadas en Gg, de CH₄ y N₂O, provenientes de cultivos de 1990 al 2002 en México
- Tabla 6.8 Emisiones del ganado y cultivos del sector agricultura en Gg de CO₂ equivalente de 1990 al 2002 en México
- Tabla 7.1 Homologación de las clases de vegetación de INEGI con las clases propuestas para la elaboración del INEGI
- Tabla 7.2 Ecuaciones alométricas empleadas en el cálculo de la biomasa arbórea (kg de materia seca) por sitio de muestreo. Sólo en el caso del grupo de hojosas se emplearon diferentes ecuaciones por clase de precipitación
- Tabla 7.3 Análisis de varianza de una vía de la densidad de biomasa arbórea (Mg dm ha⁻¹) presente por ecoregión y clase de cobertura vegetal, con base en los datos del Inventario Nacional Forestal de 1994. N = número de sitios de muestreo; dm = materia seca; IC 95% = intervalo de confianza a 95% de probabilidad
- Tabla 7.4 Crecimiento medio anual de biomasa por regeneración natural
- Tabla 7.5 Clasificación de los tipos de suelos según WRB, USDA y su equivalente para IPCC*

- Tabla 7.6 Cobertura de las áreas agrícolas potenciales para encalado.
- Tabla 7.7 Superficie cubierta por piña durante el año agrícola 2004.
- Tabla 7.8 Estimación del incremento total de biomasa en bosques con manejo forestal
- Tabla 7.9 Estimación de la incertidumbre asociada al cálculo de la captura de carbono en bosques con manejo forestal. Se presentan los porcentajes de incertidumbre para cada dato de actividad y factor de emisión
- Tabla 7.10 Estimación de biomasa vegetal talada en los aprovechamientos de madera
- Tabla 7.11 Estimación preliminar de la incertidumbre asociada al cálculo de la emisión de carbono en bosques con manejo forestal. Se presentan los porcentajes de incertidumbre por dato de actividad y factor de emisión
- Tabla 7.12 Estimación de la incertidumbre asociada al cálculo de la emisión neta de carbono en bosques con manejo
- Tabla 7.13 Pérdida de biomasa a partir de cambios en las coberturas vegetales presentes en 1993 y en el 2002 (a) y total de emisiones relacionadas a estos cambios (b).
- Tabla 7.14 Incertidumbre relacionada al cálculo de emisiones por la conversión de bosques, selvas y matorrales
- Tabla 7.15 Emisiones de Gases traza derivados de la combustión de la biomasa de los bosques
- Tabla 7.16 Superficies abandonadas que se regenera en distintos tipos de bosques
- Tabla 7.17 Absorción de carbono por abandono
- Tabla 7.18 Incertidumbre relacionada al cálculo de la acumulación de carbono en áreas abandonadas
- Tabla 7.19 Valores promedio de Carbono Orgánico en el Suelo (COS, Mg C ha⁻¹) por tipo de suelo PICC
- Tabla 7.20 Valores promedio de Carbono Orgánico en el Suelo (COS, Mg C ha⁻¹) por tipo de vegetación en el año 2002
- Tabla 7.21 Valores de Carbono Orgánico en el Suelo totales de acuerdo a las coberturas de los diferentes usos de suelo en la república mexicana
- Tabla 7.22 Estimación de la incertidumbre asociada al cálculo de la captura y emisión de carbono en suelos minerales
- Tabla 7.23 Estimación de la incertidumbre absoluta del modulo de carbono orgánico del suelo
- Tabla 7.24 Estimación de incertidumbre asociada al cálculo del Carbono Orgánico en el Suelo de áreas impactadas por la agricultura
- Tabla 7.25 Incertidumbre total asociada al inventario nacional de GEI en el Sector USCUS
- Tabla 8.1 Parámetros Requeridos por la Metodología PICC Versión 1996 para la Estimación de Emisiones de Metano de Residuos Sólidos Urbanos
- Tabla 8.2 Valores de Incertidumbre Estimados para las Emisiones de Metano de Residuos Sólidos y Aguas Residuales (%)
- Tabla 8.3 Valores de Incertidumbre Propuestas por la Guía de las Buenas Prácticas y Manejo de la Incertidumbre de la Metodología 1996 del PICC
- Tabla 8.4 Emisiones de Metano Generadas por Residuos (Gg CH₄/año)
- Tabla 8.5 Emisiones de CO₂ y N₂O resultantes de la Incineración de Residuos Peligrosos y Hospitalarios (Gg/año)
- Tabla B.1 Valores de Factores de emisión usados para calcular los nuevos factores de emisión (kg/TJ)
- Tabla B.2 Nuevos factores de Emisión para el Transporte Automotor (kg/TJ)

Tabla B.3 Factores de Corrección de Metano (FCM)
Empleados en la Ecuación B.1

Tabla B.4 Factores COD (Carbono Orgánico
Biodegradable) para la Ecuación B.2

Tabla B.5 Procesamiento de la información generada
por la CNA para la estimación de las emisiones
de metano derivadas de las aguas residuales
municipales

Tabla B.6 Información Requerida por la Metodología
para efectuar el Inventario de Emisiones de
Metano Procedentes de las Aguas Residuales
Industriales

Tabla B.7 Valores por Defecto para la Estimación de
Emisiones de CO₂

Tabla B.8 Emisiones de CO₂ Resultantes de la
Incineración de Residuos Peligrosos Empleando
Factores por Defecto

Lista de Figuras

- Figura RE.1 Contribución por categoría de emisión en el periodo 1990-2002
- Figura RE.2 Emisiones por tipo de gas en el periodo 1990-2002
- Figura RE.3 Diagrama de emisiones de GEI para México
- Figura RE.4 Emisiones de GEI de la Categoría de Energía por tipo de gas 1990-2002
- Figura RE.5 Cambio porcentual anual de las emisiones de GEI de la categoría Energía con respecto al año anterior
- Figura RE.6 Cambio absoluto anual de las emisiones de GEI de la categoría Energía con respecto a 1990
- Figura RE.7 Intensidad energética de México en el período 1990-2002
- Figura RE.8 Intensidad de emisiones de México en el período 1990-2002
- Figura RE.9 Emisiones de la categoría de Energía por tipo de combustible consumido en el país en subcategorías 1A1, 1A2 y 1A4
- Figura RE.10 Contribución porcentual por sector a las emisiones de GEI de la categoría Energía en 1990 y 2002
- Figura RE.11 Contribución porcentual por sector a las emisiones de CO₂ de categoría Procesos Industriales en 1990 y 2002
- Figura RE.12 Emisiones de desechos de 1990 a 2002
- Figura 1.1 Estructura de los arreglos institucionales
- Figura 2.1 Emisiones en Mt de CO₂ equivalente por tipo de Gas de 1990 al 2002
- Figura 2.2 Índice de emisiones, PIB y población para período 1990 a 2002
- Figura 2.3 Emisiones de CO₂ equivalente por habitante

- Figura 2.4 Emisiones de CO₂ equivalente por Producto Interno Bruto
- Figura 2.5 Emisiones en millones de tCO₂ por sector
- Figura 2.6 Emisiones en Gg de CH₄ de 1990 al 2002
- Figura 2.7 Emisiones en Gg de N₂O de 1990 al 2002
- Figura 2.8 Emisiones de los HFCs en equivalentes de CO₂ de 1990 al 2002
- Figura 2.9 Emisiones de los PFCs en equivalentes de CO₂ de 1990 al 2002
- Figura 2.10 Emisiones de los SF₆ en equivalentes de CO₂ de 1990 al 2002
- Figura 2.11 Emisiones de gases de efecto invernadero indirecto para el período 1990 a 2002
- Figura 2.12 Comparación internacional de emisiones CO₂ per cápita vs. PIB per cápita, 2003
- Figura 2.13 Comparación internacional de emisiones CO₂ per cápita vs. IDH
- Figura 2.14 Comparación internacional de emisiones CO₂ per cápita vs. IDH alto
- Figura 2.15 Comparación internacional de emisiones CO₂ per cápita vs. IDH medio
- Figura 3.1 Consumo de energía en México en el periodo 1990-2002
- Figura 3.2 Consumo de energía en el 2002 por fuente de energía
- Figura 3.3 Evolución del consumo de combustibles en la Categoría de Energía en el periodo 1990-2002
- Figura 3.4 Emisiones de CO₂ por quema de combustibles en la Categoría de Energía
- Figura 3.5 Comportamiento del PIB durante el periodo 1990-2002
- Figura 3.6 Evolución de las emisiones de CO₂ por quema de combustibles en ocho países incluyendo México
- Figura 3.7 Comparación de las emisiones de CO₂ reportadas por la AIE y las calculadas por el INEGI
- Figura 3.8 Consumo (PJ) de combustibles por los sectores de la energía en el año base 1990
- Figura 3.9 Consumo (PJ) de combustibles por los sectores de la energía en el 2002
- Figura 6.1 Relación de tipo lineal en el censo de ganado lechero
- Figura 6.2 Relación de tipo polinómica en el censo de ganado lechero
- Figura 6.3 Relación del valor de la tendencia central, para obtener los valores del ganado lechero para los años faltantes del censo del SIACON
- Figura 7.1 Distribución espacial de las Ecoregiones de Norteamérica (Fuente: INEGI, s.d.)
- Figura 7.2 Resumen de las etapas ejecutadas en la estimación y análisis de la biomasa: 1) revisión de la información dasométrica; 2) cálculo de densidad de biomasa mediante ecuaciones alométricas y análisis de ANOVA; y 3) comparación de la densidad de biomasa por clase de vegetación y tipo de eco-región, periodo 1993 y 2002
- Figura 7.3 Mapa de la República Mexicana mostrando la distribución de los sitios del Inventario Nacional Forestal de 1994 (ca. 16,000 puntos) y las clases de precipitación media anual
- Figura 7.4 Sitios de muestreo de Carbono Orgánico en el Suelo (adaptado SEMARNAT-CP (2002) e INEGI)
- Figura 7.5 Mapas de edafología (A, INEGI, 2003) y climas de México (B, García, 1990).
- Figura 7.6 Mapas de uso de suelo para los años 1993 (A) y 2002 (B) utilizados en el cálculo de la matriz de cambio de uso
- Figura 7.7 Mapas de uso de suelo para los años 1993 (A) y 2002 (B) utilizados en el cálculo de la matriz de cambio de uso
- Figura 7.8 Distribución del pH en los suelos
- Figura 7.9 Balance de los flujos de CO₂ derivados del manejo de los bosques. La captura de CO₂ se expresa con signo negativo (-)

y la emisión con signo positivo (+). Las barras representan el porcentaje de incertidumbre asociada a los cálculos

Figura 7.10 Valores de COS para los principales usos de suelo.

Figura 7.11 Balance del flujo de COS en los diferentes uso del suelo y emisiones totales para el periodo de 1993 a 2002

Figura 7.12 Balance anual de emisiones-capturas del COS y emisiones totales anuales en Gg C

Figura 7.13 Carbono en suelos de áreas impactadas por la agricultura

Figura 7.14 Cambio del contenido de carbono en suelos de áreas impactadas por la agricultura según los factores de manejo aplicados.

Figura 7.15 Resumen de las emisiones de cada sección y sus niveles de incertidumbre estimada

Figura 8. 1 Emisiones de CH₄ de Desechos Para los Años de 1990, 1992, 1994, 1996, 1998, 2000 y 2002

FIGURA B.1 Flujo de Aguas Residuales, Sistemas de Tratamiento y Potencial de Emisiones de CH₄.

Glosario

ANFACAL	Asociación Nacional de Fabricantes de Cal, A.C.	COREMI	Consejo de Recursos Minerales
ANIQ	Asociación Nacional de la Industria Química	COS	Carbon orgánico del Suelo
BIE	Banco de Información Electrónica.	COVDM	Compuestos orgánicos volátiles diferentes al metano.
BDS	Biomasa subterránea	FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.
BDFE	Base de datos de factores de emisión	GBP2003	Guía de las Buenas Prácticas para el Sector Uso de Suelo, Cambio de Uso de Suelo y Bosques 2003
BEF	Factor de expansión de biomasa	GEI	Gases de Efecto Invernadero.
C	Carbono	HAC	Arcillas de alta actividad (High Activity Clay)
CANACEM	Cámara Nacional del Cemento	HL	hectolitros (cien litros)
CANACINTRA	Cámara Nacional de la Industria de la Transformación	IMC	Industrial Minera Comercial, S.A. de C.V.
CINASA	Compañía Nacional de Abrasivos, S.A. de C.V.	INEGI	Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.
CFE	Comisión Federal de Electricidad.	INF	Inventario Nacional Forestal
CICC	Comisión Intersecretarial de Cambio Climático	LAC	Arcillas de baja actividad (Low Activity Clay)
CMNUCC	Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático	MMTCE	Millones de toneladas métricas de carbono equivalente
CNA	Comisión Nacional del Agua	MOD	Materia orgánica en descomposición
CONAFOR	Comisión Nacional Forestal	Mt	Millones de toneladas que equivalen a 1,000 Gg.
CONABIO	Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad		

PIB	Producto Interno Bruto	SEDESOL	Secretaría de Desarrollo Social.
PICC	ó IPCC por sus siglas en inglés. Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático; también se le conoce como Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático.	SEMARNAT	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
PRODEPLAN	Programa de Plantaciones Forestales Comerciales	SENER	Secretaría de Energía.
PROFEPA	Procuraduría Federal de Protección al Ambiente.	SIAMI	Sistema de Información Arancelaria Vía Internet
PRONARE	Programa Nacional de Reforestación	USGS	United States Geological Survey
RSU	Residuos sólidos urbanos.		
QA/QC	Quality Assurance/ Quality Control, actividades propuestas para asegurar la calidad y el control de la misma, consistentes en la revisión y comparación de factores de emisión, metodologías e información de las actividades.		

Definiciones

Aguas residuales industriales - Aguas que son contaminadas por efecto de su uso en procesos industriales, o de generación de energía.

Aguas residuales municipales - Aguas que son contaminadas por efecto de su uso en asentamientos humanos, centros de población o, de manera general, en domicilios, comercios y servicios urbanos.

Antropogénico(a) - Generado por las actividades del ser humano.

Aprovechamiento forestal -. Es la parte comercial de la tala destinada a la elaboración ó al consumo directo.

Árbol de decisiones - Diagrama de Flujo propuesta por la Guía de las Buenas Prácticas como primer paso, para determinar la metodología a aplicar en la estimación de emisiones de gases de efecto invernadero.

Biomasa - El término biomasa en su sentido más amplio incluye toda la materia viva existente en un instante de tiempo en la Tierra. La biomasa energética

también se define como el conjunto de la materia orgánica, de origen vegetal o animal, incluyendo los materiales procedentes de su transformación natural o artificial. Cualquier tipo de biomasa tiene en común, con el resto, el hecho de provenir en última instancia de la fotosíntesis vegetal.

Bosques - Se definió bosque a la comunidad dominada por árboles o plantas leñosas con un tronco bien definido, con alturas mínimas de 2-4 m, con una superficie mínima de 1ha y con una cobertura arbórea del 30% (Ver cuadro 1 dentro del reporte). Geográficamente se diferenciaron en bosques tropicales y bosques templados.

Cambio de uso de suelo. A los cambios que sufre la superficie terrestre, debido principalmente a la apertura de nuevas tierras agrícolas, desmontes, asentamientos humanos e industriales. Es decir a las diferentes formas en que se emplea un terreno y su cubierta vegetal (SEMARNAT 2005).

Categoría de emisión – se refiere a aquel conjunto de sectores o actividades económicas (conjunto de fuentes de emisión), de una misma naturaleza, donde se libera algún gas de efecto invernadero hacia la atmósfera. Según lo clasifica el PICC, las categorías de emisión son: energía; procesos industriales; solventes; agricultura; uso de suelo, cambio de uso de suelo y silvicultura; y desechos.

Clinca – Componente básico del cemento

Cobertura vegetal - Este término se aplica en un todo o en parte a algunos de los atributos del terreno y que en cierta forma ocupan una porción de su superficie, por estar localizados sobre éste. La cobertura como elemento del paisaje puede derivarse de ambientes naturales, como producto de la evolución ecológica (bosques, selvas, matorrales, etc.) o a partir de ambientes que han sido producidos y mantenidos por el hombre, como pueden ser los cultivos, las ciudades, las presas, etc. (López G, 1999).

CO₂ equivalente - Concentración de bióxido de carbono que podría causar el mismo grado de forzamiento radiativo que una mezcla determinada de dióxido de carbono y otros gases de efecto invernadero.

Dasometría - Se ocupa de la medición de los árboles, de la determinación del volumen de los bosques y de los crecimientos de los árboles y bosques y de las cuestiones relacionadas con la estimación métrica y cubicación de la masa forestal, entendida como conjunto de árboles que conviven en un espacio común.

Datos de actividad - *Activity Data* en inglés, valor numérico o magnitud de una actividad socioeconómica (producción, consumo, procesamiento, etc.) a la cual está asociada una posible emisión de gases de efecto invernadero.

Deforestación. Es la transformación de tierras forestales a no-forestales debido a la actividad humana directa o inducida.

Directrices del PICC.- Se refiere a los manuales del Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, versión revisada en 1996, los cuales son: el manual de trabajo, el manual de referencia y las instrucciones para el informe del inventario.

Factor de emisión - *Emission Factor* en inglés, corresponde a la unidad de conversión para estimar emisiones a partir de datos de actividad; el factor de emisión se expresa en unidades de cantidad de emisiones por unidad de masa de la actividad o fuente generadora de gases de efecto invernadero.

Factor de remoción. Tasa de captación de carbono atmosférico por los sistemas terrestres y su captura en la biomasa y el suelo.

Forzamiento radiativo. Cambio en la irradiación neta vertical (expresada en W/m²).

Fuente de Emisión – Proceso o mecanismo que libera algún gas de efecto invernadero.

Gas de efecto invernadero – se refiere a cualquier constituyente gaseoso de la atmósfera que tiene la capacidad de absorber y re-emitir radiación infrarroja. Esos gases pueden clasificarse en aquellos generados de manera natural o aquellos emitidos como resultado de las actividades socio-económicas del hombre.

Gg – Unidad de medida de masa equivalente a 10⁹ gramos, empleada para las emisiones de GEI. Un gigagramo equivale a 1,000 toneladas.

Guías de las Buenas Prácticas.- se refiere al manual de la Orientación del PICC sobre las Buenas Prácticas y la Gestión de la Incertidumbre en los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero, publicado en el 2002.

Incremento volumétrico.- Medida, en metros cúbicos rollo total, de la velocidad de producción total de madera (por árboles, rodales o estratos), basada en el volumen de madera producida en un periodo dado.

Leña. Toda aquella madera que conserva su estructura original y cuya combustión intencional puede aprovecharse como fuente directa o indirecta de energía.

MJ.- Mega Joules. Unidad de medida de energía equivalente a 1,000,000 de Joules.

Plantación forestal comercial. El establecimiento, cultivo y manejo de vegetación forestal en terrenos temporalmente forestales o preferentemente forestales, cuyo objetivo principal es la producción de materias

primas forestales destinadas a su industrialización y/o comercialización.

Potencial de calentamiento global – índice relativo empleado para comparar el impacto que tiene en el clima la emisión de un kilogramo de un gas de efecto invernadero comparado con la emisión de un kilogramo de bióxido de carbono. Los valores del índice consideran los efectos radiativos de cada gas así como sus diferentes tiempos de permanencia en la atmósfera.

Reforestación. Conversión por actividad humana directa de terrenos no boscosos en terrenos forestales mediante plantación, siembra o fomento antropogénico de semilleros naturales en superficies donde antiguamente hubo bosques, pero que actualmente están deforestadas.

Residuos peligrosos – Todos aquellos residuos, en cualquier estado físico, que por sus características corrosivas, reactivas, explosivas, tóxicas, inflamables o biológico-infecciosas (características CRETIB), representen un peligro para el equilibrio ecológico o el ambiente. Se incluyen todos aquellos envases, recipientes, embalajes que hayan estado en contacto con estos residuos.

Residuos sólidos municipales – Desechos sólidos mezclados que provienen de actividades humanas desarrolladas en una casa-habitación, en sitios y servicios públicos, demoliciones, construcciones, establecimientos comerciales y de servicios.

Revegetación. Es el incremento de los almacenes de carbono debido a actividad humana directa o inducida a través del establecimiento de vegetación que cubre un área mínima de 0.05ha.

Software del PICC – Programa de cálculo en Excel proporcionado por el PICC para sistematizar y facilitar la estimación de emisiones por cada categoría de emisión, durante la elaboración de los inventarios de GEI.

Sumidero – Proceso o mecanismo que absorbe y/o retiene gases de efecto invernadero.

Tala - Volumen en pie de todos los árboles vivos o muertos, medidos a un diámetro mínimo especificado a la altura del pecho que se cortan durante el periodo de referencia, incluidas todas las partes de los árboles.

Trona – Mineral base en la obtención del carbonato de sodio por el proceso natural.

Uso de suelo. Se aplica a los diferentes tipos de cobertura que el ser humano crea para satisfacer sus necesidades materiales o espirituales (Vink, 1975). Es una descripción de la función o el propósito para el cuál la tierra será usada. (LUCC 2000)

Abreviaturas de los compuestos químicos

CO ₂	Bióxido de carbono
CH ₄	Metano
N ₂ O	Óxido nitroso
CO	Monóxido de carbono
NO _x	Óxidos de nitrógeno
COVDM	Compuestos orgánicos volátiles diferentes al metano
SO ₂	Bióxido de azufre
HFC	Hidrofluorocarbonos
PFC	Perfluorocarbonos
SF ₆	Hexafluoruro de azufre
CF ₄	Perfluorometano
C ₂ F ₆	Perfluoroetano

RE.1. Resumen Ejecutivo

RE.1.1. Antecedentes del inventario nacional de emisiones de gases de efecto invernadero y cambio climático

El presente Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (INEGEI) comprende las estimaciones de las emisiones por fuente y sumidero para el periodo de 1990 al 2002.

Se realiza conforme a lo establecido en los artículos 4 y 12 de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), y en las Directrices sobre comunicaciones nacionales de las Partes no-Anexo I de la CMNUCC, adoptadas en la decisión 17/CP.8, que señalan que las Partes no-Anexo I deben incluir información de un *inventario nacio-*

nal de las emisiones antropogénicas por las fuentes y la absorción antropogénica por los sumideros de todos los gases de efecto invernadero no controlados por el Protocolo de Montreal, en la medida que lo permitan sus posibilidades, preparado utilizando las metodologías comparables que promueva y apruebe la Conferencia de las Partes¹.

Los cálculos de emisiones de GEI aquí informados se realizaron para cinco de las seis categorías de emisión del PICC: Energía [1], Procesos Industriales [2], Solventes [3], Agricultura [4] y Residuos [6]. A la fecha de publicación del documento, solo se tienen estimaciones preliminares de promedios anuales para el periodo de 1993 al 2002 de las emisiones de la categoría Uso de Suelo, Cambio de Uso de Suelo y Silvicultura (USCUSS) [5], *por lo que sus cifras solo se consideran*

¹ UNFCCC. (2004). "Informando sobre cambio climático. Manual del usuario para las directrices sobre comunicaciones nacionales de las Partes no-Anexo I de la CMNUCC". Climate Change Secretariat, Alemania. Pág. 1.

TABLA RE.1 CATEGORÍAS DE EMISIÓN DEL PICC

1 Energía
1A Consumo de combustibles fósiles
1B Emisiones fugitivas de metano
2 Procesos Industriales
3 Solventes
4 Agricultura
5 Uso de suelo, cambio de uso de suelo y silvicultura
6 Desechos

en la sección del Panorama General del Resumen Ejecutivo de este documento; las emisiones de USCUS no se incluyen en los análisis de tendencia y comparación con otras categorías de emisión del documento.

De conformidad con las Directrices del PICC, las estimaciones del INEGEI se realizaron con las metodologías de nivel 1, por defecto, y en los casos en que se cuenta con más información, fue posible recurrir a las metodologías de nivel 2. En los cálculos se emplearon datos de actividad específicos del país, reco-

pilados con el apoyo de organizaciones relevantes en cada categoría de emisión; así mismo, se emplearon factores de emisión por defecto, con excepción de la subcategoría de emisión de transporte, en donde se obtuvo un factor de emisión acorde a las circunstancias nacionales.

Las estimaciones de emisiones antropogénicas se informan desglosadas por gases y categorías de emisión. Para el informe de las emisiones agregadas se emplean unidades de CO₂ equivalente, utilizando para ello los potenciales de calentamiento global proporcionados por el PICC en su Segundo Informe de Evaluación, mismos que se basan en los efectos de los GEI en un horizonte temporal de 100 años (ver Tabla RE.2).

RE.1.2. Resumen de la tendencia nacional de las emisiones

Las emisiones totales de gases de efecto invernadero (GEI) en el 2002 (sin USCUS) fueron de 553,329 Gg

TABLA RE.2 POTENCIAL DE CALENTAMIENTO GLOBAL DE GASES DE EFECTO INVERNADERO¹

ESPECIE*	FÓRMULA QUÍMICA	POTENCIAL DE CALENTAMIENTO GLOBAL
Bióxido de carbono	CO ₂	1
Metano	CH ₄	21
Oxido nitroso	N ₂ O	310
HFC-23	CHF ₃	11,700
HFC-32	CH ₂ F ₂	650
HFC-125	C ₂ H ₂ F ₅	2,800
HFC-134	C ₂ H ₂ F ₄	1,000
HFC-134a	CH ₂ FCF ₃	1,300
HFC-152a	C ₂ H ₄ F ₂	140
HFC-143a	C ₂ H ₃ F ₃	3,800
Hexafluoruro de azufre	SF ₆	23,900
Perfluorometano	CF ₄	6,500
Perfluoroetano	C ₂ F ₆	9,200

*Incluye únicamente los gases de efecto invernadero cuyas emisiones fueron estimadas en el INEGEI 2002

² Climate Change 1995, The Science of Climate Change: Summary for Policymakers and Technical Summary of the Working Group I Report, pg. 26.

en equivalentes de CO₂, lo que representa un incremento del 30% con respecto a 1990. Estas emisiones incluyen los seis principales gases de efecto invernadero contemplados por el Protocolo de Kioto (CO₂, CH₄, N₂O, HFCs, PFCs y SF₆) de las cuatro categorías de emisión que se muestran en la tabla RE.3.

La mayor contribución a las emisiones totales proviene de la categoría de energía [1], que anualmente aporta en promedio el 72% de las emisiones totales para el período entre 1990 y 2002; en particular y dentro de esta categoría de emisión, el consumo de combustibles fósiles es la principal fuente de emisiones de GEI en el país, ya que contribuye en promedio con 64% de las emisiones totales cada año.

La importancia relativa que guarda cada categoría con respecto al total de emisiones ha variado entre 1990 y 2002; hacia el 2002 se observa una mayor participación en las emisiones de las categorías de desechos [6] y procesos industriales [2], mientras que la contribución al total tiende a disminuir en las categorías de energía [1] y agricultura [4]. La contribución de las emisiones fugitivas [1B], dentro de la categoría de energía, se mantiene estable, con un promedio de 7.4% de las emisiones totales cada año.

En términos de contribución al total (figura RE.1), el cambio más marcado se presenta en la categoría de desechos, cuyas emisiones aumentan en un 97% entre 1990 y 2002, como resultado del incremento en la disposición de residuos sólidos en rellenos sanitarios y del impulso dado en la última década al tratamiento de las aguas residuales industriales y municipales.

Gran parte de este incremento se da entre 1990 y 1996, en donde las emisiones se elevan en un 59%; en los siguientes años, de 1996 a 2002, la tasa de crecimiento baja y tiende a estabilizarse, mostrando un incremento anual entre 1 y 4%.

Otro cambio significativo se presenta en la categoría de procesos industriales [2], ya que al 2002 muestra un incremento del 60% en sus emisiones de GEI con respecto a 1990; el aumento en las emisiones se debe a una mayor utilización de piedra caliza y dolomita, originado principalmente por el crecimiento durante la última década de la industria de la construcción y por una mayor producción de materias primas, productos y derivados siderúrgicos.

Aunque su contribución con respecto al total disminuye en un 4% en el período, la categoría de energía [1] aumentó sus emisiones en un 25% entre 1990 y 2002, debido principalmente a un mayor consumo de combustibles fósiles en el país; esta situación se explica por el crecimiento propio de la economía en esos años, lo que generó un aumento en la demanda de energía, y por la poca variación en el tipo de combustibles fósiles empleados en el país, tanto para transporte como para generación de energía eléctrica. A pesar del incremento en emisiones, la menor contribución al total por parte de la categoría de energía se explica por una mejora en la intensidad energética en el país y por la mayor participación relativa de las categorías de desechos y procesos industriales.

Con respecto a la categoría de agricultura [4] ésta presenta al 2002 un decremento del 3% con respec-

TABLA RE.3 EMISIONES EN GG EN CO₂ EQUIVALENTE PARA EL PERIODO 1990-2002

CATEGORÍA DE EMISIÓN	1990	1992	1994	1996	1998	2000	2002
1 Energía	312,027.2	321,835.9	342,899.6	349,430.6	394,128.8	398,627.3	389,496.7
1A Consumo de Combustibles fósiles	279,863.7	291,045.5	308,931.8	311,197.1	351,760.2	356,796.3	350,414.3
1B Emisiones fugitivas	32,163.5	30,790.4	33,967.8	38,233.4	42,368.7	41,831.0	39,082.3
2 Procesos Industriales	32,456.4	32,878.3	39,247.8	42,744.0	50,973.1	55,851.2	52,102.2
4 Agricultura	47,427.5	46,049.6	45,503.9	44,076.6	45,444.9	45,527.0	46,146.2
6 Desechos	33,357.2	36,935.4	46,862.6	52,894.9	62,655.9	63,219.8	65,584.4
Total	425,268.2	437,699.1	474,513.8	489,146.1	553,202.8	563,225.2	553,329.4

FIGURA RE.1 CONTRIBUCIÓN POR CATEGORÍA DE EMISIÓN EN EL PERIODO 1990-2002

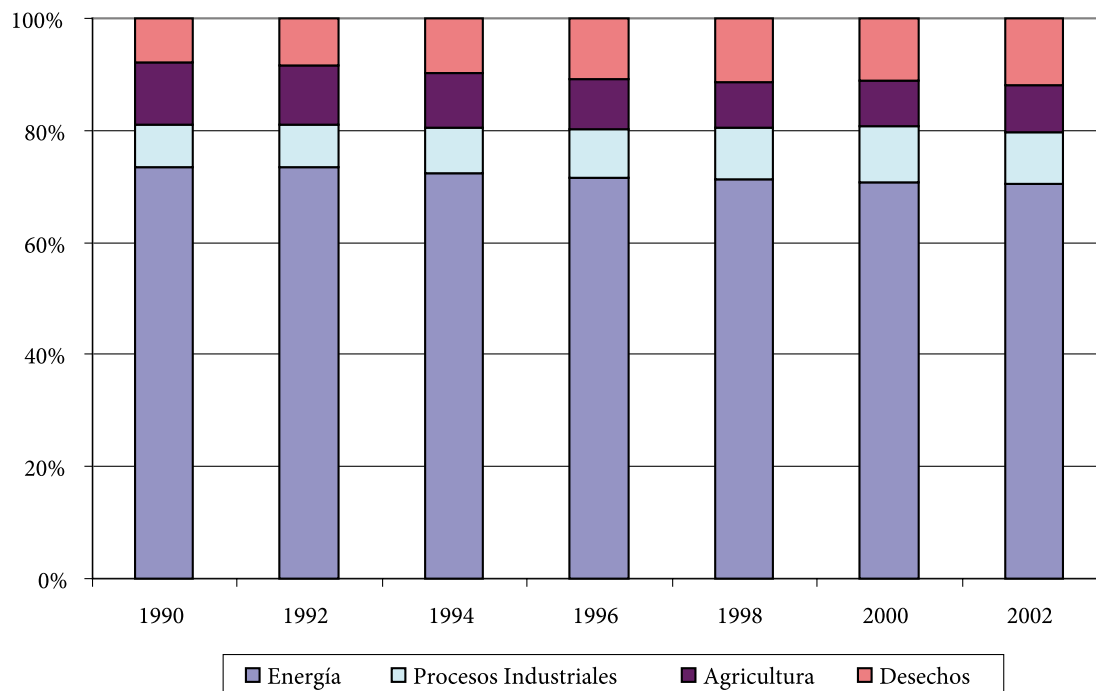
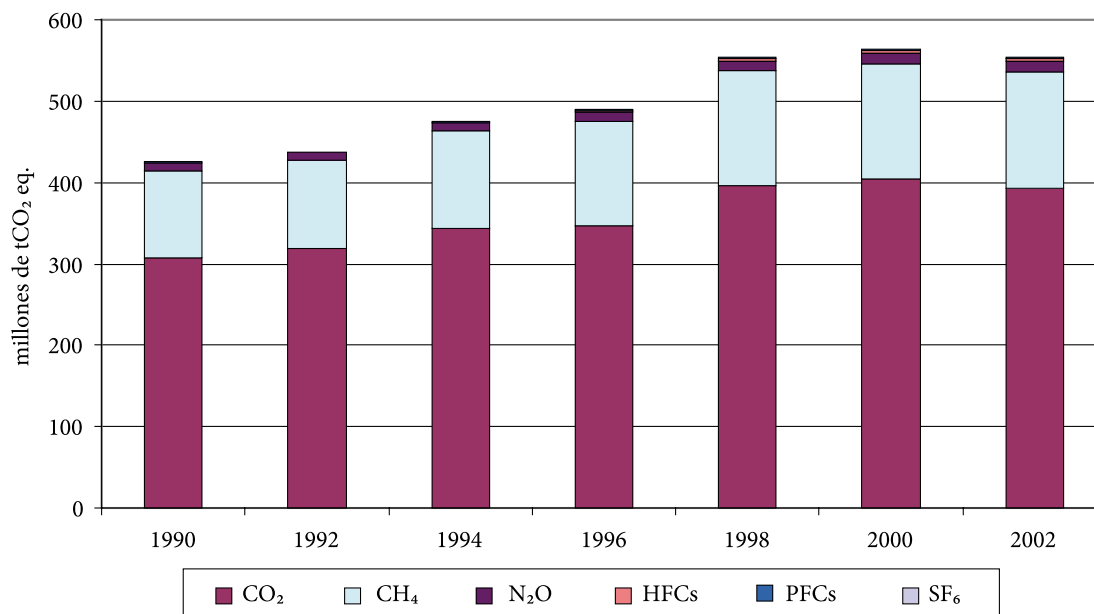


FIGURA RE.2 EMISIONES POR TIPO DE GAS EN EL PERIODO 1990-2002



to a 1990, atribuible a un posible estancamiento en el sector pecuario, así como a un aumento en la importación y una menor producción nacional de granos básicos como el arroz.

En cuanto a los gases considerados, el principal GEI es el CO₂ el cual registró un incremento del 28% con respecto a 1990 debido principalmente al consumo de energéticos en los sectores de transporte y la industria generadora de electricidad; seguido del CH₄ que tiene un incremento del 34% con respecto a 1990 siendo las emisiones fugitivas por petróleo y gas, la fermentación entérica, los rellenos sanitarios y las aguas residuales los que contribuyen en las emisiones de este gas; finalmente el N₂O tiene un incremento del 16% con respecto a 1990, siendo la principal contribución para este gas las emisiones de los suelos agrícolas.

Por lo que respecta a los HFCs, PFCs, y el SF₆, éstos tienen una participación de 1% en el inventario de GEI. Las emisiones potenciales de estos gases en conjunto se han multiplicado por un factor de 16 veces respecto a 1992, debido principalmente a un aumento en el consumo de HFCs en equipos de refrigeración y aire acondicionado; sin embargo los PFCs presentan una disminución del 42% de 1990 al 2002 derivado de la disminución en la producción de aluminio en el país.

RE.1.3. Panorama general de las estimaciones y tendencias de las emisiones por categoría fuente y sumidero

En el presente inventario se informa por primera vez sobre las estimaciones de las emisiones de la categoría de solventes, así como las emisiones de los gases fluorados provenientes de la categoría de procesos industriales.

Así mismo se calcularon las emisiones para el periodo 1990 – 1998, de las categorías de procesos industriales, de solventes y desechos con base a nueva información disponible. También se calcularon nuevamente las emisiones de las fuentes fijas y de área y del transporte automotor debido a que se cuenta con factores de emisión más adecuados que toman en

cuenta los aspectos tecnológicos considerados como los más representativos para México. Adicionalmente, para las estimaciones de emisiones en Agricultura se aplicaron los factores de emisión por defecto, corregidos y publicados por el PICC en 2001.

Este trabajo, al igual que los INEGEI presentados con anterioridad, es el resultado de la colaboración entre la academia y el sector público. A diferencia de inventarios anteriores en esta ocasión se desarrolló un sistema de trabajo que guiara y facilitara la preparación del INEGEI y que a la vez permitiera registrar la experiencia adquirida en la elaboración del mismo.

Como parte de ello, en el año 2005 se desarrolló un sistema de cómputo, tomando como modelo las hojas de trabajo de las directrices del PICC, para facilitar la captura de información y solventar algunos problemas presentados con el software del PICC.

RE.1.3.1. Panorama General

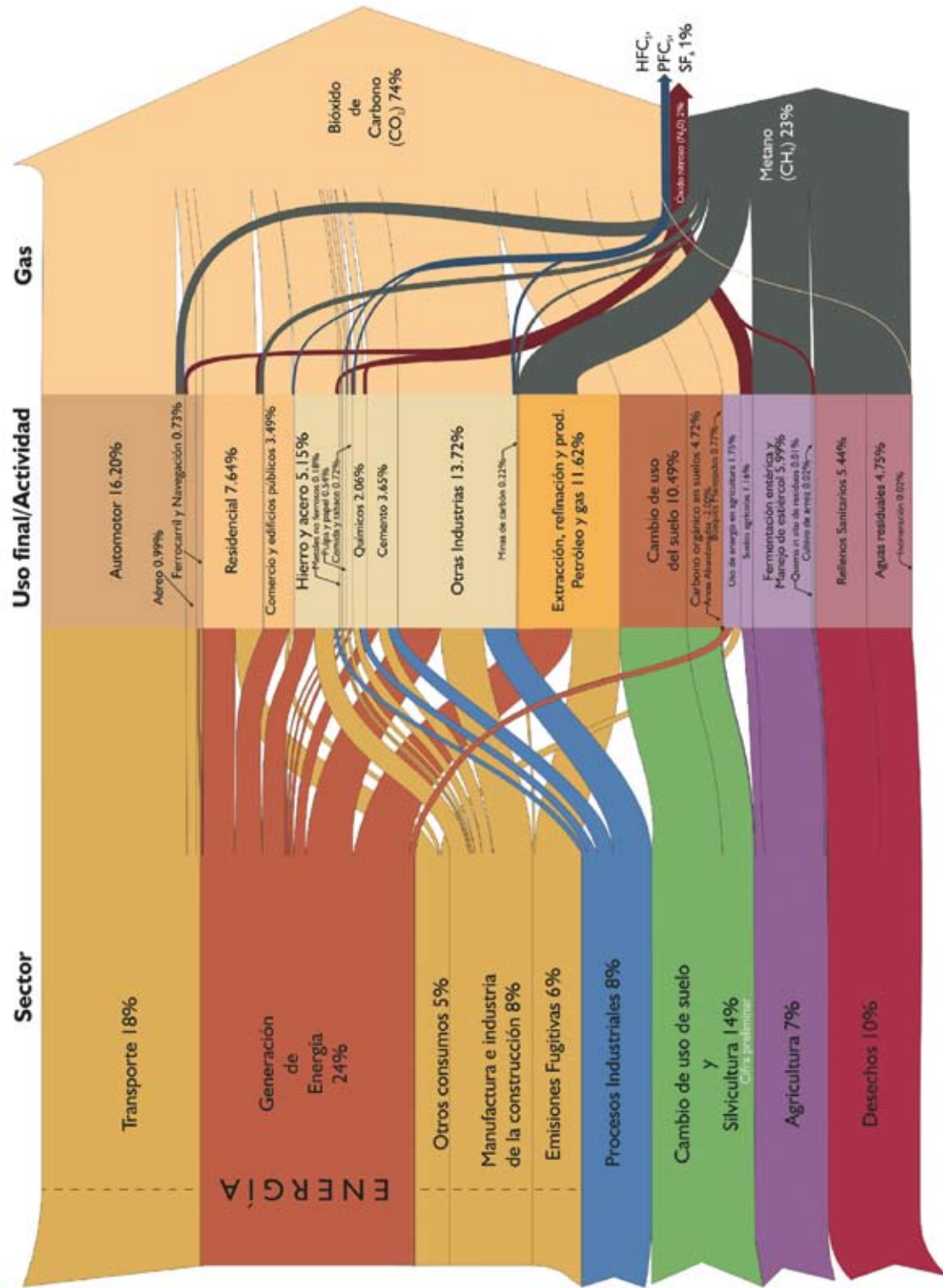
Las emisiones de GEI para 2002 en unidades de CO₂ equivalente, y con cifras preliminares de la categoría uso de suelo, cambio de uso de suelo y silvicultura (USCUSS), se estimaron en 643,183 Gg tomando en cuenta los seis gases enunciados en el anexo A del Protocolo de Kioto.

En el diagrama de la figura RE.3 se presenta la contribución por categoría de emisión (lado izquierdo) y por gas (lado derecho).

La contribución de las emisiones de los GEI de las diferentes categorías en términos de CO₂ equivalente en el 2002 es la siguiente: la categoría de energía representó el 61% de las emisiones con 389,497 Gg; le siguen las categorías de USCUSS con 14% de las emisiones totales (89,854 Gg), desechos con 10% (65,584 Gg), procesos industriales con 8% (52,102 Gg) y agricultura con el 7% (46,146 Gg).

En particular los sectores de la categoría de energía, como principal fuente de las emisiones, contribuyeron de la siguiente manera: la generación de energía representó el 24% de las emisiones totales del país, el transporte contribuyó con el 18%, el consumo de combustibles fósiles en la manufactura y la industria de la construcción aportó el 8%, el consumo en los sectores

FIGURA RE.3 DIAGRAMA DE EMISIONES DE GEI PARA MEXICO³



³ Información de México con base al diagrama diseñado por el World Resources Institute, WRI. WRI. (2005). "Navigating the Numbers: Greenhouse gases and international climate change agreements". Pág. 4.

residencial, comercial y agrícola fue del 5%, mientras que las emisiones fugitivas de metano contribuyeron con 6% de las emisiones totales. En conjunto, las fuentes fijas y de área (que incluye generación de energía, manufactura e industria de la construcción y otros sectores de la energía, sin contar el transporte) representaron el 37% del total.

Las emisiones de GEI por gas en CO₂ equivalente son las siguientes: 480,409 Gg (74%) corresponden a CO₂, 145,586 Gg (23%) son de CH₄, 12,343 Gg (2%) corresponden a N₂O, y el restante 1% se compone por 4,425 Gg de los HFCs, 405 Gg de los PFCs y 15 Gg de los SF₆.

RE.1.3.2. Energía [1]

La Categoría Energía que es la más importante de los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero de México, se subdivide en consumo de com-

bustibles fósiles y en emisiones fugitivas de metano (tabla RE.4).

Las emisiones de gases de efecto invernadero de la categoría de Energía, expresadas en unidades de CO₂ equivalente, de la categoría Energía registraron al año 2002, un aumento del 25% con respecto al año base (1990) de 312,027 Gg a 389,497 Gg; sin embargo, su contribución al volumen total de emisiones disminuyó en un 4% en el mismo período (tabla RE.5).

En el 2002 el CO₂ contribuyó con 89%, el CH₄ con 10% y el N₂O con el restante 1% de las emisiones de gases de efecto invernadero de la Categoría de Energía (tabla RE.6 y figura RE.4).

Las figuras RE.5 y RE.6 ilustran respectivamente el cambio porcentual anual de las emisiones de gases de efecto invernadero en la Categoría de Energía y el cambio absoluto en las emisiones con respecto a 1990.

TABLA RE.4 SUBCATEGORÍAS DE ENERGÍA

1A Consumo de combustibles fósiles	1A1 Generación de energía 1A2 Manufactura e industria de la construcción 1A3 Transporte 1A4 Otros (Comercial, residencial y agricultura)
1B Emisiones fugitivas de metano	1B1 Por el minado y manipulación del carbón 1B2 Por las actividades del petróleo y gas natural

TABLA RE.5 EMISIONES DE GEI DE LA CATEGORÍA ENERGÍA (Gg)

CATEGORÍA Y SUBCATEGORÍAS	1990	1992	1994	1996	1998	2000	2002
1 Energía	312,027	321,836	342,900	349,431	394,129	398,627	389,497
<i>1A Consumo de Combustibles fósiles</i>	279,864	291,045	308,932	311,197	351,760	356,796	350,414
<i>1B Emisiones fugitivas de combustibles</i>	32,163	30,790	33,968	38,233	42,369	41,831	39,082

TABLA RE.6 EMISIONES DE GEI DE LA CATEGORÍA ENERGÍA POR TIPO DE GAS EN CO₂ EQUIVALENTE

GAS	1990	1992	1994	1996	1998	2000	2002
CO ₂	276,490	287,518	305,152	307,889	349,233	353,868	346,361
CH ₄	34,371	33,086	36,280	39,964	43,005	42,605	40,634
N ₂ O	1,166	1,232	1,467	1,578	1,891.206	2,155	2,501
TOTAL	312,027	321,836	342,900	349,431	394,129	398,627	389,497

FIGURA RE.4 EMISIONES DE GEI DE LA CATEGORÍA DE ENERGÍA POR TIPO DE GAS 1990 - 2002

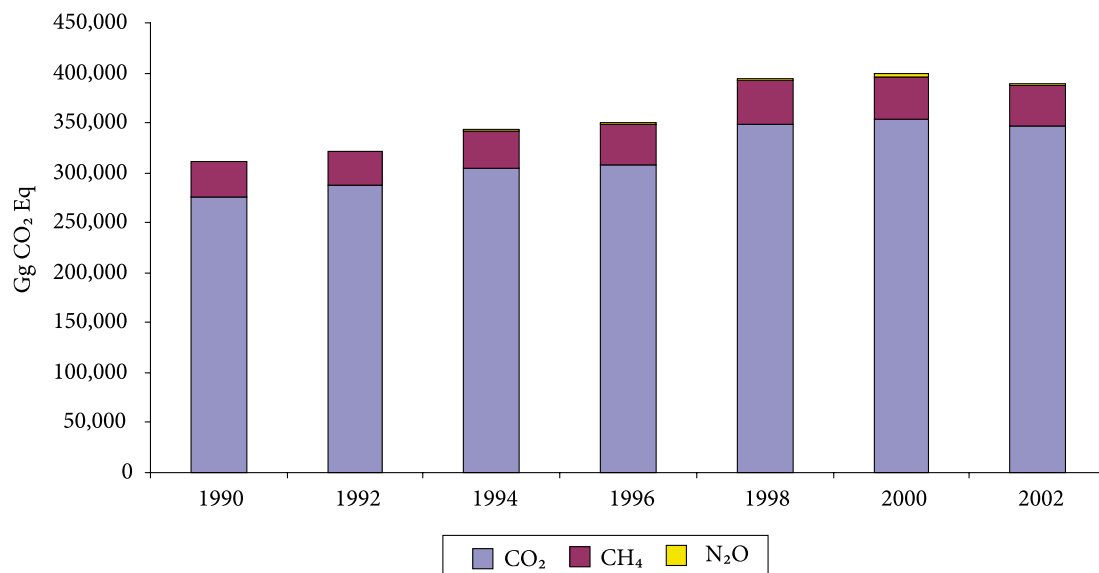


FIGURA RE.5 CAMBIO PORCENTUAL ANUAL DE LAS EMISIONES DE GEI DE LA CATEGORÍA ENERGÍA CON RESPECTO AL AÑO ANTERIOR

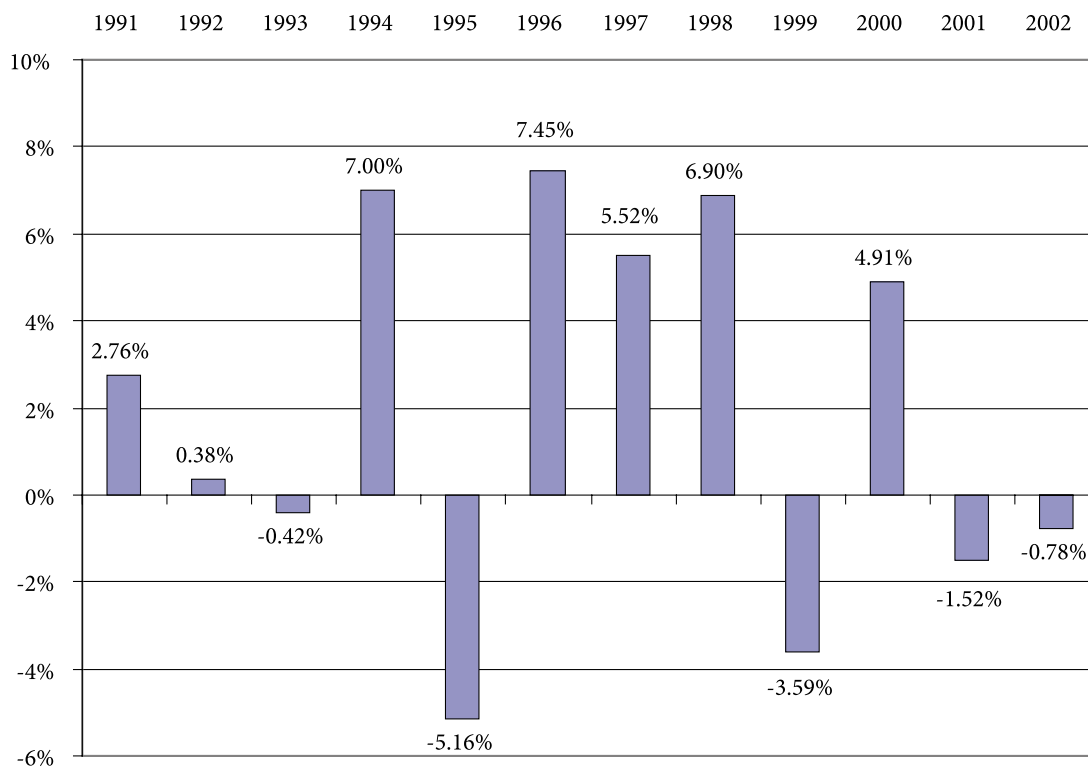
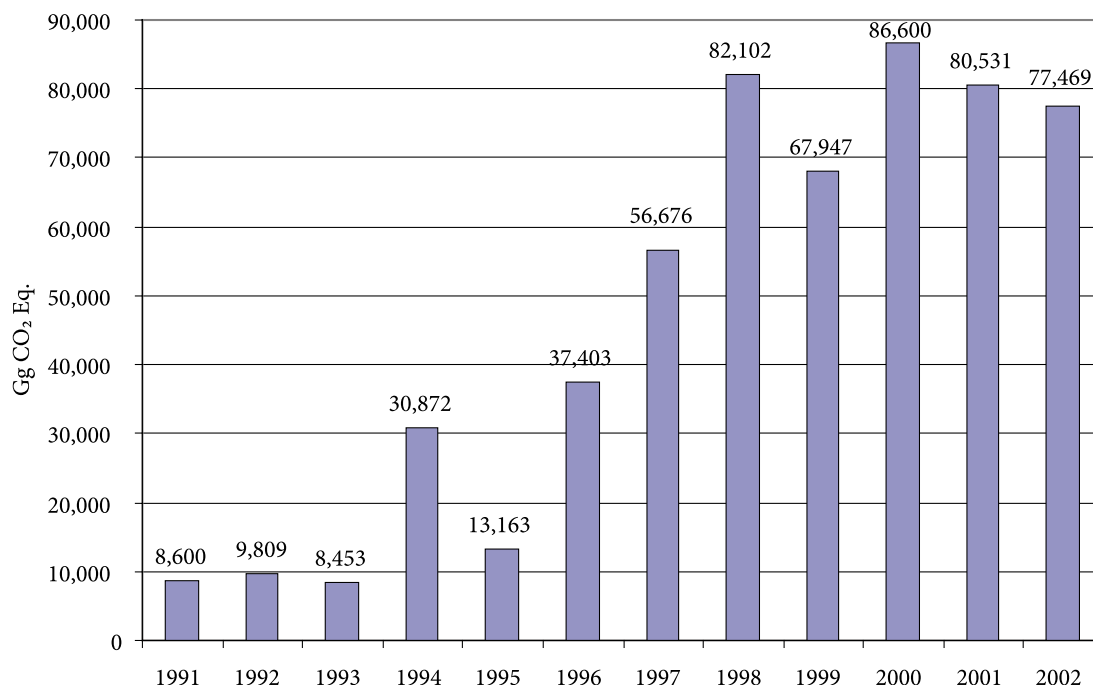


Figura RE.6 Cambio absoluto anual de las emisiones de GEI de la categoría Energía con respecto a 1990

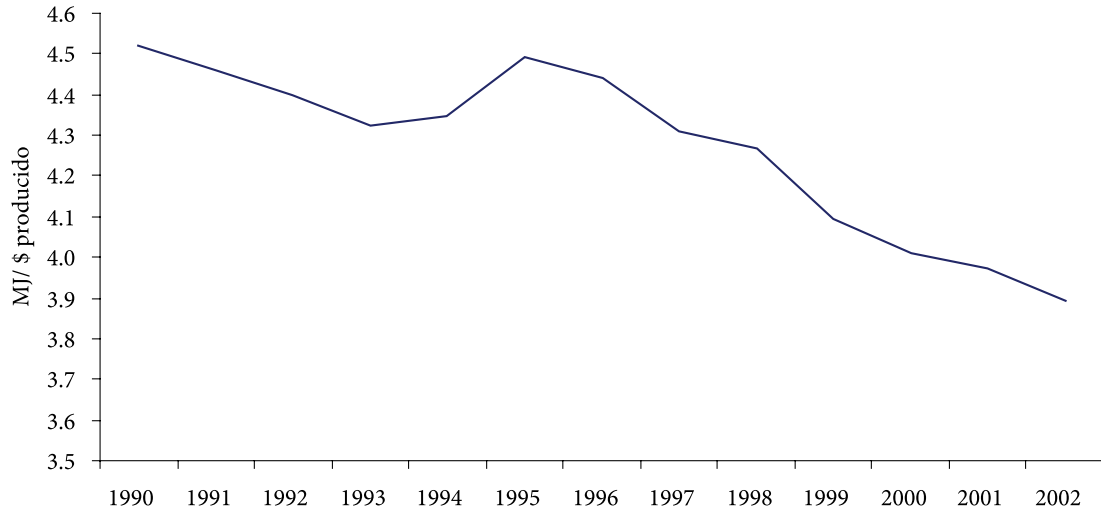


Las emisiones de gases de efecto invernadero en esta categoría presentan una tasa media anual de crecimiento del 2% de 1990 a 2002, misma que es menor a la tasa media de crecimiento anual del PIB, que en el mismo período fue de 3.1%⁴. En las figuras RE.7 y RE.8 se presenta el comportamiento de la intensidad energética (consumo de combustibles fósiles por unidad del PIB a precios constantes de 1993) y la intensidad de emisiones (emisiones de gases de efecto invernadero por consumo de combustibles fósiles por unidad del PIB a precios constantes de 1993) para el periodo 1990 – 2002. En dichas gráficas es posible observar la tendencia en la mejora en ambas intensidades, en términos de un menor consumo de combustibles fósiles y una menor cantidad de emisiones de GEI por unidad de PIB generado en el país.

El único cambio en la tendencia hacia la mejora de la intensidad energética se observa en el período de 1996 a 1998, donde se presenta un retroceso por un aumento en el consumo de combustibles fósiles, en un intento de la economía por recuperar su crecimiento luego de la crisis de 1995. Relacionado con ello, la tendencia en la mejora en la intensidad de emisiones también se ve afectada; en ese mismo período ocurre un cambio en la selección de combustibles fósiles quemados en el país como se muestra en la figura RE.9; el cambio implicó un aumento en las emisiones por el consumo de diesel, gas natural no asociado y combustóleo; la intensidad de emisiones mejora a partir de 1999, año en que se reduce el consumo del combustóleo y se estabilizan el consumo de gas no asociado y diesel.

⁴ Tasa promedio anual de crecimiento del PIB: estimación propia calculada como promedio simple de acuerdo a los datos de crecimiento anual de la economía publicados por el Banco de México para el periodo 1990-2002. Fuente: <http://www.banxico.org.mx/SieInternet/>

FIGURA RE.7 INTENSIDAD ENERGÉTICA DE MÉXICO EN EL PERÍODO 1990-2002



Fuente: Elaboración propia con datos del Balance Nacional de Energía 2005.

FIGURA RE.8 INTENSIDAD DE EMISIONES DE MÉXICO EN EL PERÍODO 1990-2002

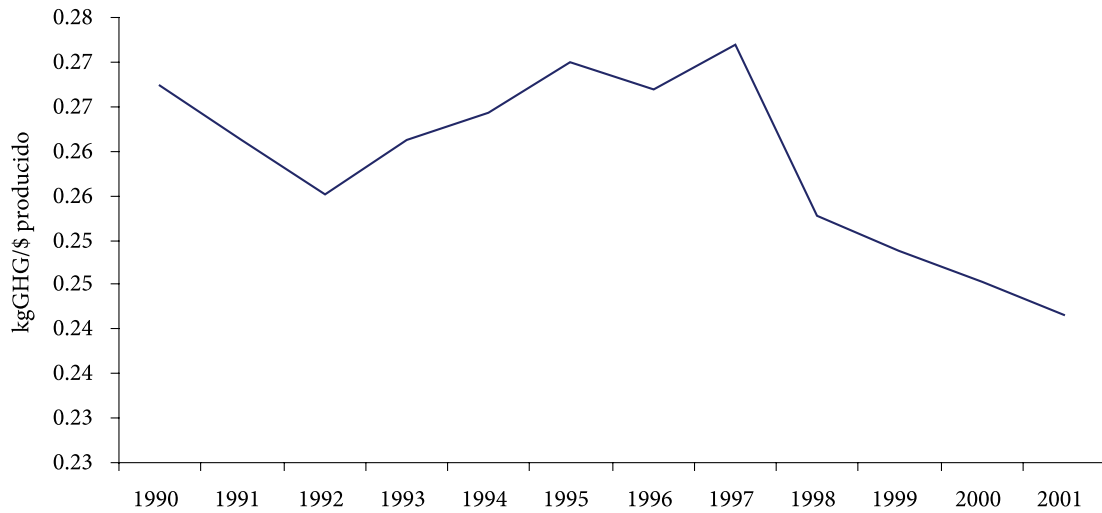
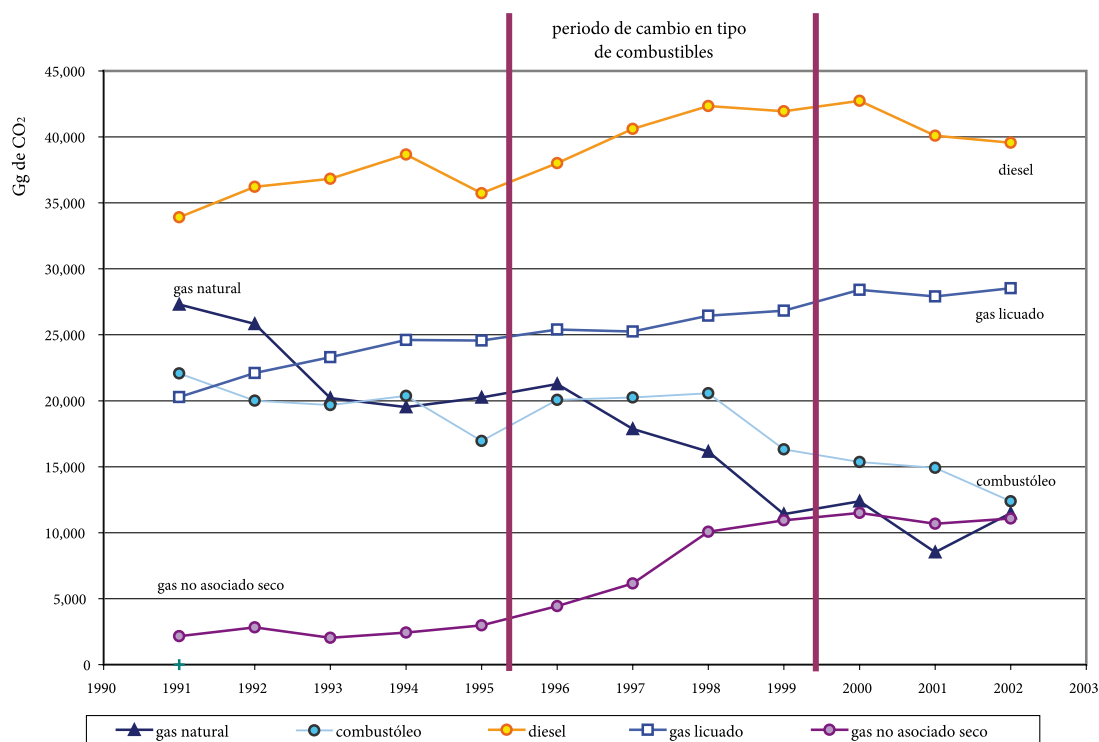


FIGURA RE.9 EMISIONES DE LA CATEGORÍA DE ENERGÍA POR TIPO DE COMBUSTIBLE CONSUMIDO EN EL PAÍS EN SUBCATEGORÍAS 1A1, 1A2 Y 1A4



Dentro de las subcategorías de energía, las emisiones en unidades de CO₂ equivalente producidas en el 2002 por la quema de combustibles fósiles en las fuentes fijas y de área (generación de energía [1A1], manufactura e industria de la construcción [1A2], otros sectores [1A4]) equivalen al 61% de las emisiones en la categoría (236,028 Gg) mientras que las emisiones del sector transporte [1A3] representaron un 29% (114,385 Gg) y las emisiones fugitivas el 10% (39,082 Gg).

Las emisiones correspondientes a la subcategoría de consumo de combustibles fósiles presentan variación en su contribución respecto a 1990. Por ejemplo, la contribución de la industria generadora de energía aumenta de 34% a 40%, a la vez que se reduce la participación de las emisiones provenientes de la manufactura e industria de la construcción y la de otros sectores (figura RE. 10).

Las emisiones de gases de efecto invernadero por consumo de combustibles fósiles son de 350,414 Gg de

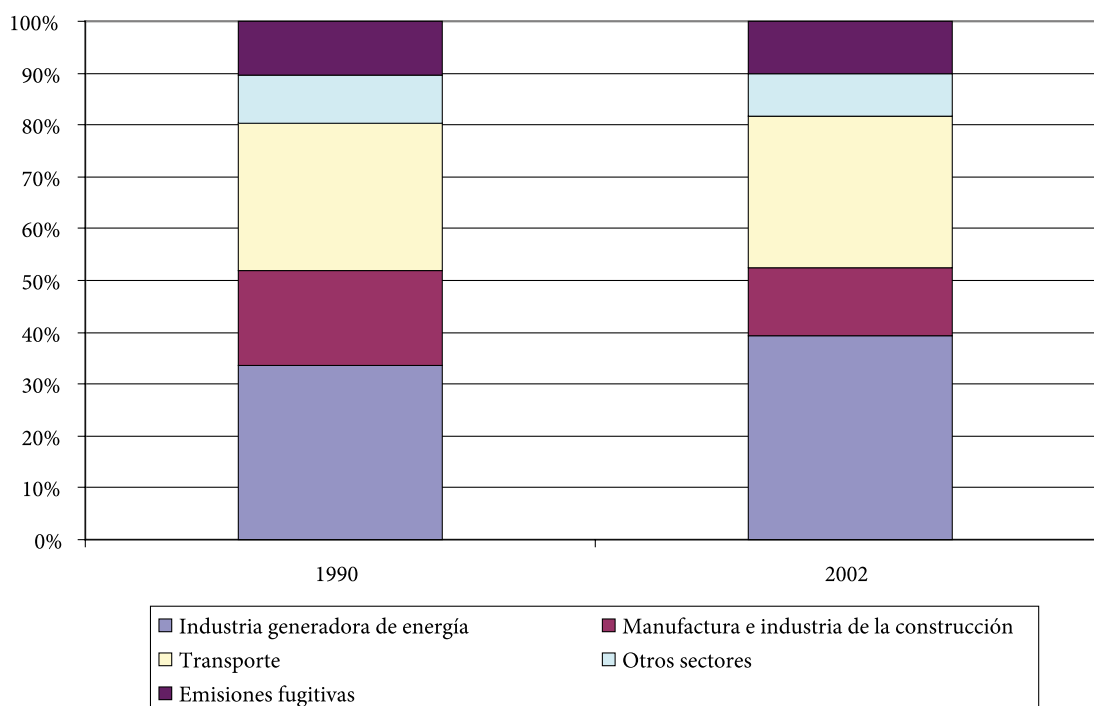
CO₂ equivalente en el 2002, lo que representa un 25% por arriba de las registradas para el año base 1990.

En el 2002, la contribución de los diferentes sectores que son parte de la subcategoría de consumo de combustibles fósiles [1A], en lo que respecta a fuentes fijas y de área es como sigue:

- El 64.7% del total de las emisiones de gases de efecto invernadero generadas por las fuentes fijas de combustión, pertenecen a las industrias de la energía [1A1].
- El 21.7% son generadas por los sectores de manufactura e industria de la construcción [1A2], y
- El 13.6% restante lo producen los sectores residencial, comercial y agropecuario [1A4].

En el 2002, las emisiones totales de gases de efecto invernadero en unidades de CO₂ equivalente del sector del transporte [1A3] fueron de 114,385 Gg y quedaron integradas de la siguiente forma: el transporte

FIGURA RE.10 CONTRIBUCIÓN PORCENTUAL POR SECTOR A LAS EMISIONES DE GEI DE LA CATEGORÍA ENERGÍA EN 1990 Y 2002



automotor [1A3b] contribuyó con un 91%, el transporte aéreo [1A3a] con un 6%, el transporte marítimo [1A3d] con un 2% y el transporte ferroviario [1A3c] con el restante 1%.

Las emisiones fugitivas de metano [1B] para el 2002 en equivalentes de CO₂ fueron de 39,082 Gg, integradas en un 96% por las emisiones de la producción de petróleo y gas [1B2] en esta categoría y el 4% restante por el proceso de minado y manipulación del carbón [1B1a].

RE.1.3.3. Procesos Industriales [2]

La categoría de procesos industriales considera las emisiones generadas en la producción y uso de minerales, producción de metales, industria química, algunos procesos como producción de papel, alimentos y bebidas y finalmente, en la producción y consumo de halocarbonos y hexafluoruro de azufre (ver tabla RE.7).

El bióxido de carbono (CO₂), el metano (CH₄), el óxido nitroso (N₂O), los halocarbonos (HFC, PFC) y el hexafluoruro de azufre (SF₆) son los GEI estimados dentro de esta categoría. Adicionalmente se estiman otros gases secundarios como el monóxido de carbono (CO), el bióxido de azufre (SO₂), los óxidos de nitrógeno (NO_x) y los compuestos orgánicos volátiles diferentes al metano (COVDM).

En términos generales, el principal gas emitido por la categoría de Procesos Industriales es el CO₂, que en el 2002 representó el 90% de las emisiones de la categoría con 47,069 Gg. Las emisiones de CO₂ aumentaron un 51% con respecto al año base 1990 debido a la mayor producción de cemento, a una mayor utilización de la piedra caliza y la dolomita y a un incremento en la producción de materias primas, de productos y de derivados siderúrgicos en el país.

Las emisiones de los gases fluorados muestran un importante incremento en el periodo 1992 a 2002 y en conjunto representan el 1% del total del inventario;

TABLA RE.7 SUBCATEGORÍAS DE PROCESOS INDUSTRIALES

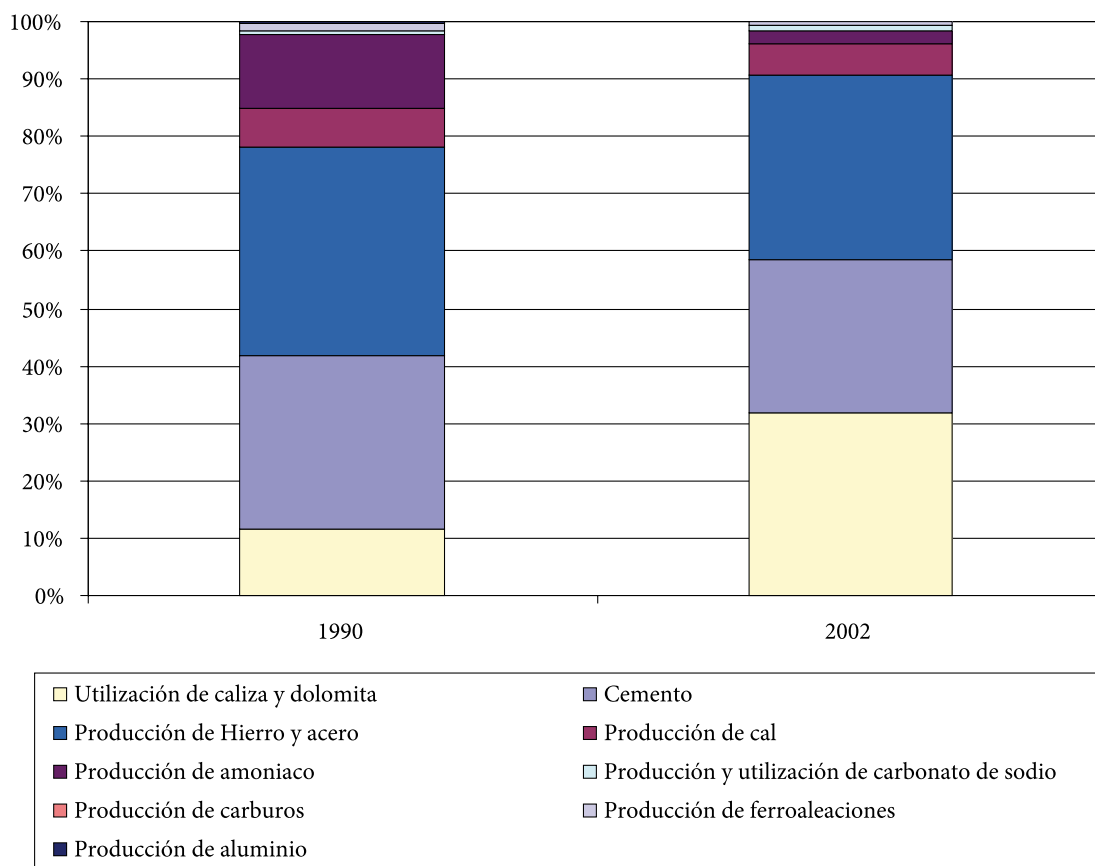
2A Productos minerales	2A1 Producción de cemento 2A2 Producción de óxido e hidróxido de calcio 2A3 Uso de piedra caliza y dolomita 2A4 Producción y uso de carbonato de sodio 2A5 Impermeabilizantes asfaltados 2A6 Pavimentación con asfalto 2A7 Vidrio
2B Industria química	2B1 Producción de amonio 2B2 Producción de ácido nítrico 2B3 Producción de ácido adípico 2B4 Producción de carburos 2B5 Otros
2C Producción de metales	2C1 Producción de hierro y acero 2C2 Producción de ferroaleaciones 2C3 Producción de aluminio 2C4 Uso de SF ₆ en fundidoras de aluminio y magnesio
2D Otros procesos industriales	2D1 Pulpa y papel 2D2 Alimentos y bebidas
2E Producción de halocarbonos y hexafluoruro de azufre	2E1 Emisiones como residuos o subproductos 2E2 Emisiones fugitivas
2F Consumo de halocarbonos y hexafluoruro de azufre	2F1 Equipos de refrigeración y aire acondicionado 2F2 Espumas 2F3 Extinguidores 2F4 Aerosoles 2F5 Solventes 2F6 Equipos eléctricos e interruptores automáticos

dicho incremento es principalmente un reflejo de un mayor uso de HFCs en refrigeradores y aires acondicionados en industrias, viviendas y automóviles; esta familia de gases viene a sustituir a algunos de los clorofluorocarbonos (CFCs) controlados por el Protocolo de Montreal y cuyo uso está restringido en el mundo.

Las emisiones de SF₆, aunque representan una porción menor que los HFCs dentro de las emisiones de gases fluorados, se quintuplicaron entre 1990 y 2002. Sin embargo, los datos obtenidos para la estimación

de las emisiones de SF₆ únicamente muestran las adquisiciones de equipo eléctrico por parte de la Comisión Federal de Electricidad (CFE) para el período 1990-2002, pero no consideran el equipo que haya sido adquirido en años anteriores a 1990, ni detallan las unidades que se retiran del sistema cada año. Adicionalmente, los datos corresponden al equipo incorporado al sistema de distribución eléctrica, pero no incluyen los casi 3,700 equipos adquiridos para el sistema de transmisión, u otros equipos del sistema de

FIGURA RE.11 CONTRIBUCIÓN PORCENTUAL POR SECTOR A LAS EMISIONES DE CO₂ DE CATEGORÍA PROCESOS INDUSTRIALES EN 1990 Y 2002



generación de electricidad, ya que no se tiene el desglose anual para el período contemplado. Las estimaciones de SF₆ no consideran la posible destrucción del gas, las fugas en el equipo o su reutilización en otros equipos, ya que esos datos se desconocen.

Por su parte, los PFCs presentan una disminución de 42% entre 1990 y 2002 debido principalmente a una menor producción del aluminio en el país.

RE.1.3.4. Solventes [3]

La categoría de solventes contempla las emisiones de COVDM generados por el uso de los solventes en pinturas, tintas para imprenta, adhesivos, barnices, lacas y otros productos químicos. Los COVDM juegan un papel importante en la troposfera como precursores

de la formación del ozono, que es un gas de efecto invernadero indirecto.

Las emisiones de los COVDM generadas por el uso de solventes se estimaron para los años 1990, 1992, 1994, 1996, 1998, 2000 y 2002. Dado que las Directrices del PICC revisadas en 1996 no brindan una metodología de estimación, se siguieron las metodologías propuestas en los informes de Estados Unidos, Hungría, Latvia y Noruega.

Las emisiones totales de COVDM en 2002 fueron de 220.5 Gg y su principal fuente son los solventes. Las emisiones de COVDM registraron un aumento de 84% de 1990 a 2002.

La mayor parte de las emisiones en esta categoría proviene de los solventes con 29%, los esmaltes con 21%, las tintas de impresión con 11% y los adhesivos

TABLA RE.8 EMISIONES DE GEI POR GAS DE CATEGORÍA PROCESOS INDUSTRIALES PARA PERÍODO 1990 – 2002, Gg

GEI	1990	1992	1994	1996	1998	2000	2002
CO ₂	31,142.88	32,168.76	38,001.77	39,519.71	44,016.44	50,442.14	47,069.14
COVDM	406.92	447.12	566.96	383.80	407.61	611.94	525.27
SO ₂	92.05	81.74	71.56	87.02	99.32	104.28	102.70
CO	67.23	43.84	32.24	67.36	63.57	56.55	42.13
CH ₄	5.13	4.68	4.40	4.79	4.70	4.61	3.62
NO _x	5.10	3.93	2.81	10.24	8.49	5.50	4.17
N ₂ O	1.62	1.00	0.14	3.26	2.29	0.82	0.36

TABLA RE.9 EMISIONES DE GEI POR GAS, DE CATEGORÍA PROCESOS INDUSTRIALES PARA EL PERÍODO 1990 – 2002, Gg EN EQUIVALENTES DE CO₂

GEI	1990	1992	1994	1996	1998	2000	2002
CO ₂	31,142.88	32,168.76	38,001.77	39,519.71	44,016.44	50,442.14	47,069.14
CH ₄	107.7	98.3	92.4	100.59	98.7	96.8	76
N ₂ O	502.2	310	43.4	1010.6	709.9	254.2	111.6
HFC	-	40.4	463.6	1469.8	2770.6	4414	4425.2
PFC	701.2	257.5	642.6	638.1	642.6	635.9	405.1
SF ₆	2.4	3.4	3.9	5.2	6.1	8.1	15.2
Total	32,456.38	32,878.36	39,247.67	42,744.00	48,244.34	55,851.14	52,102.24

TABLA RE.10 EMISIONES DE COVDM POR SECTOR DE LA CATEGORÍA SOLVENTES PARA PERÍODO 1990-2002, Gg

PRODUCTO	Años						
	1990	1992	1994	1996	1998	2000	2002
Esmaltes	29.6	33.4	42.1	37.5	42.7	50.9	45.4
Lacas	4.9	5.9	7.0	6.6	7.3	10.3	10.5
Pinturas solubles en agua sin minerales	3.2	3.6	3.5	3.2	4.8	5.6	5.3
Barnices	3.5	4.4	6.3	5.1	5.6	7.3	6.6
Pinturas solubles en agua con minerales	ND	ND	2.5	2.2	2.7	2.7	2.2
Pinturas con solventes	6.4	7.9	13.7	13.2	17.4	21.5	17.5
Selladores	3.0	3.9	6.4	5.3	6.4	7.1	6.5
Adhesivos	7.1	7.6	12.9	16.7	23.6	29.3	23.3
Impermeabilizantes	8.9	8.7	9.2	18.3	17.8	17.1	14.1
Tintas para impresión	ND	ND	10	14.7	20.4	20.2	24.7
Solventes	52.8	51.7	67.8	57.5	61.6	73.8	64.4
Totales, Gg	119.4	127.1	181.4	180.3	210.3	245.8	220.5

*ND: No disponible.

con 10%. El resto de las emisiones proviene de productos químicos como lacas, barnices, impermeabilizantes, selladores y pinturas.

RE.1.3.5. Agricultura [4]

La categoría de agricultura está compuesta principalmente por las emisiones provenientes de actividades agrícolas (cultivos y manejo de suelos) y pecuarias (fermentación entérica y manejo de estiércol). Sus principales gases son el CH₄ y el N₂O.

Esta categoría se estimó actualizando en los valores de los factores de emisión y los datos de actividad o datos censales de los rubros comprendidos en las actividades agrícolas y pecuarias en México.

Se puede observar que para el periodo comprendido entre los años 1990 – 2002, las emisiones promedio de CH₄ representan el 84% de la categoría y las de N₂O el 16% restante (tabla RE.10). Asimismo, se aprecia una disminución en las emisiones de la categoría, de 47,427 a 46,146 Gg, derivado posiblemente de la importación de granos básicos como el arroz y del estancamiento del sector pecuario.

RE.1.3.6. Uso del Suelo, Cambio de Uso de Suelo y Silvicultura [5] (USCUSS) (Preliminar)

La categoría de USCUSS contempla las emisiones de (CO₂ generadas por las subcategorías definidas por el PICC (tabla RE.13), así como las emisiones de CH₄ y N₂O generadas por cambio de uso de suelo [5B].

Para la estimación de las emisiones de esta categoría, se estandarizó la clasificación de vegetación y uso del suelo a nivel histórico en México y se adaptó a las metodologías del PICC.

Las emisiones estimadas corresponden a promedios anuales de GEI para el periodo de 1993 a 2002, que en CO₂ equivalente fueron de 89,854 Gg.

En términos de CO₂ la categoría USCUSS aporta un total de 86,877 Gg. Estas emisiones son el resultado del balance entre 64,484 Gg provenientes de la combustión y descomposición de biomasa aérea asociada a los procesos de conversión de bosques a otros usos; 30,344 Gg por emisiones derivadas de los suelos minerales y áreas agrícolas; 4,932 Gg por emisión en bosques manejados y una captura de 12,883 Gg en

TABLA RE.11 SUBCATEGORÍAS DE AGRICULTURA

4A Fermentación entérica	Se subdivide en 10 tipos distintos de animales
4B Manejo de estiércol	Se subdivide en 10 tipos distintos de animales
4C Cultivo de arroz	4C1 Cultivo irrigado
	4C2 Cultivo de temporal
	4C3 Cultivo en pantanos
4D Suelos agrícolas	
4E Quemas programadas de suelos	
4F Quemas <i>in situ</i> de residuos agrícolas	

TABLA RE.12 EMISIONES DE METANO (CH₄) Y OXIDO NITROSO (N₂O) DE LA CATEGORÍA AGRICULTURA, Gg DE CO₂ EQUIVALENTE

	1990	1992	1994	1996	1998	2000	2002
CH ₄	40,312.76	39,403.39	38,698.77	37,155.64	37,988.29	37,712.00	38,681.60
	85%	86%	85%	84%	84%	83%	84%
N ₂ O	7,114.81	6,646.09	6,805.10	6,921.06	7,456.43	7,814.76	7,464.49
	15%	14%	15%	16%	16%	17%	16%
Total	47,427.57	46,049.48	45,503.87	44,076.70	45,444.72	45,526.76	46,146.09

TABLA RE.13 SUBCATEGORÍAS DE USCUS

5A Cambios en existencia (inventario) de bosques y otra biomasa leñosa	5A1 Bosques tropicales 5A2 Bosques templados 5A3 Bosques boreales 5A4 Pastizales, sabana tropical y tundra 5A5 Otros
5B Cambio de Uso del Suelo	5B1 Bosques tropicales 5B2 Bosques templados 5B3 Bosques boreales 5B4 Pastizales, sabana tropical y tundra 5B5 Otros
5C Captura por abandono de tierras	5C1 Bosques tropicales 5C2 Bosques templados 5C3 Bosques boreales 5C4 Pastizales, sabana tropical y tundra 5C5 Otros
5D Emisiones y captura de CO ₂ del suelo	

TABLA RE.14 SUBCATEGORÍAS DE DESECHOS

6A Disposición de residuos sólidos en suelo	6A1 Disposición de residuos sólidos en rellenos sanitarios 6A2 Disposición de residuos sólidos en tiraderos a cielo abierto 6A3 Otros
6B Manejo y tratamiento de aguas residuales	6B1 Aguas residuales industriales 6B2 Aguas residuales domésticas y municipales
6C Incineración de residuos	

tierras abandonadas, la cual se descuenta del total de emisiones de la categoría.

RE.1.3.7. Desechos [6]

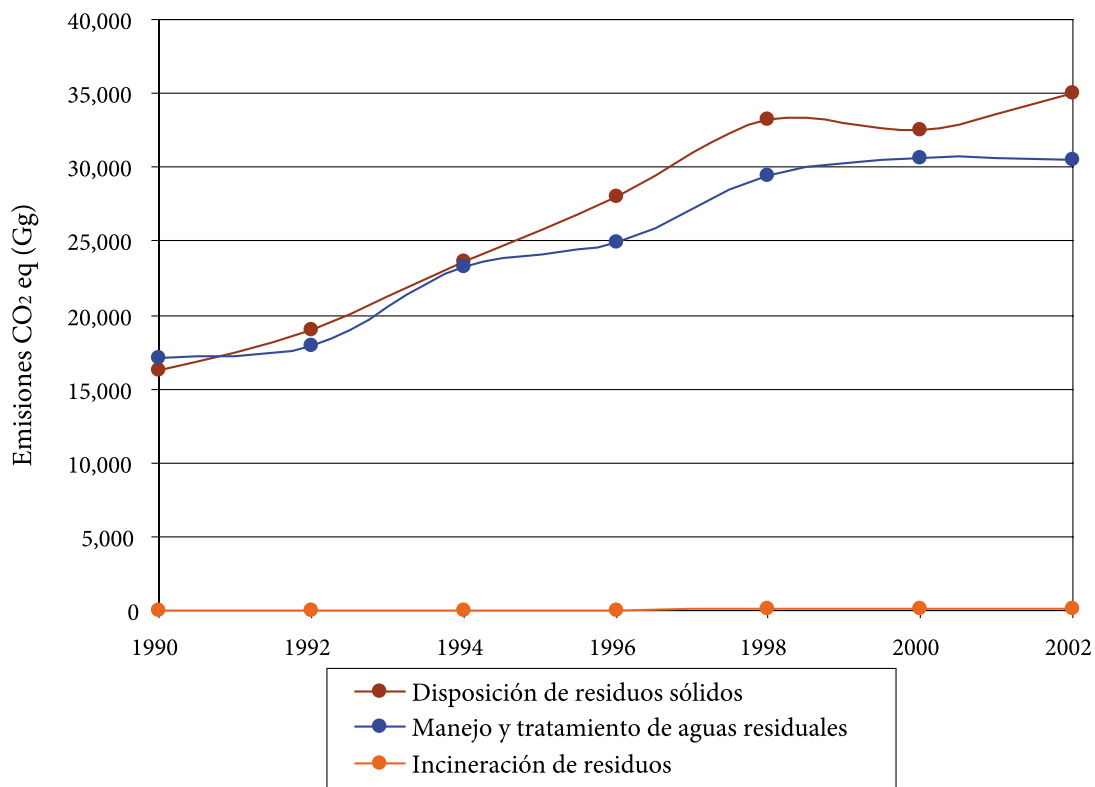
La categoría de desechos contempla las emisiones de CH₄ generadas a partir de los residuos sólidos municipales y las aguas residuales municipales e industriales, así como las emisiones de N₂O emitidas por las aguas residuales municipales y las emisiones de

CO₂ y N₂O generadas por la incineración de residuos peligrosos.

Las emisiones de GEI en el 2002, en CO₂ equivalente, fueron de 65,584 Gg, mientras que en 1990 se emitieron 33,357Gg.

Las emisiones de GEI por desechos, en CO₂ equivalente, tuvieron un incremento de 96% del año 1990 al 2002 como resultado del incremento en la disposición de residuos sólidos en rellenos sanitarios y del impulso dado en la última década al tratamiento de

FIGURA RE.12 EMISIONES DE DESECHOS DE 1990 A 2002



las aguas residuales industriales y municipales; dentro de este porcentaje también se incluye el cambio registrado en las emisiones por incineración de residuos peligrosos, cuyo valor se multiplicó por 30 entre 1990

y 2002 pero su contribución al total en este último año es menor al 0.5%. La incineración de residuos es una actividad relativamente nueva en el país.

1. Introducción

El presente documento corresponde a la edición de 2006 del Informe del Inventario Nacional para las estimaciones de emisiones de gases de efecto invernadero de 1990 al 2002, el cual México presenta ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.

El sector público cuenta con bastante información estadística para todos los sectores; sin embargo y como en muchos otros países, la mayoría de los datos de actividad es generada para otros fines distintos al inventario, como puede ser la población, estadísticas energéticas y económicas, o para reforzar las regulaciones ambientales locales. Tal información obliga a realizar una serie de estimaciones y supuestos necesarios para adaptar dicha información a lo solicitado en las hojas de trabajo del PICC. En la actualidad, mucha de esta información es posible obtenerla a través de los sitios oficiales de las Secretarías de Estado e instituciones de gobierno en la red. En algunas se cuenta con un sistema para las consultas dinámicas de infor-

mación, las cuales han facilitado el desarrollo de este inventario.

1.1. Antecedentes del inventario de emisiones de gases de efecto invernadero y cambio climático

El presente Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (INEGEI) de México comprende estimaciones para las emisiones por fuente y sumidero para el periodo de 1990 al 2002 y se realiza de acuerdo a lo establecido en los artículos 4 y 12 de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC) y por las Directrices de la CMNUCC para la preparación de las Comunicaciones Nacionales de las Partes no-Anexo 1 en su segundo párrafo en la que establece incluir información de los *inventarios nacionales por las emisiones antropogénicas por las fuentes y la absorción antropogénica por los sumideros de todos los gases de efecto inverna-*

dero no controlados por el Protocolo de Montreal, en la medida que lo permitan sus posibilidades, preparado utilizando las metodologías comparables que promueva y apruebe la Conferencia de las Partes.

El primer inventario realizado por México inicia con el “Estudio de País: México ante el Cambio Climático” en 1995, el cual fue financiado por el gobierno de Estados Unidos mediante el programa «US Support for Country Studies to Address Climate Change». Uno de sus principales componentes fue las estimaciones de las emisiones de gases de efecto invernadero con cifras del año base 1990, utilizando la metodología del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático creada en aquel entonces.

Posteriormente, en el año 2000, se realiza una actualización del Inventario Nacional de Emisiones de GEI con la versión de las metodologías de 1996 del PICC, lo cual incluyó en forma parcial las recién publicadas Guías de las Buenas Prácticas del PICC. Con estas metodologías se estimaron los años de 1994, 1996 y 1998. La nueva actualización del Inventario, realizada durante 2005, utilizó estas mismas metodologías para estimar las emisiones de gases de efecto invernadero al 2002, se volvieron a calcular las emisiones de 1990 a 1998.

Una ventaja con la cual se ha contado es la permanencia de las instituciones de investigación que han contribuido desde el primer inventario, lo cual ha permitido mejorar las actualizaciones de los mismos con la experiencia adquirida en cada uno de ellos. Las instituciones que han participado en la realización de los inventarios son: la Universidad Nacional Autónoma de México, a través del Instituto de Ingeniería, del Centro de Investigaciones en Ecosistemas y del Centro de Ciencias de la Atmósfera; también se contó con la participación del Instituto de Investigaciones Eléctricas, el Instituto Mexicano del Petróleo y el Colegio de la Frontera Sur.

El Instituto Nacional de Ecología ha tenido a su cargo desde 1994 la realización del Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI), asimismo ha difundido sus resultados a través de sus Comunicaciones Nacionales ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio

Climático, por diversos medios electrónicos y en la página Web de la institución, donde se presentan los resultados obtenidos de cada inventario, además de ofrecer una consulta dinámica para los resultados del último inventario.

Paralelamente, la Secretaría de Medio Ambiente tiene como mandato en su ley federal (Art. 159bis LGEEPA 1998) la de producir y mantener un sistema de información ambiental que sea complementario al Sistema de Cuentas Nacionales del INEGI. Con base en dicho mandato, la SEMARNAT creó y puso a disposición del público la Base de Datos Estadísticos del Sistema Nacional de Información Ambiental y de Recursos Naturales (SNIARN). Dicho sistema incorpora la información generada por el INEGI.

En esta ocasión, durante la actualización del inventario se pusieron en operación dos sistemas más; el primero contiene las hojas metodológicas del PICC montado en un sitio de Internet, con el objetivo de facilitar y sistematizar la captura de la información de los próximos inventarios, así como ponerla a disposición del público; el segundo se refiere al Sistema Nacional de Emisiones (SINE), donde se concentra y conjunta la información nacional sobre emisiones a la atmósfera y en el cual también se publica el INEGI.

1.2. Arreglos Institucionales

Una de las recomendaciones de la CMNUCC en la preparación de inventarios nacionales de emisiones de GEI es describir los procedimientos y arreglos establecidos para recolectar y archivar la información del inventario, así como para asegurar que la preparación del inventario sea un proceso continuo. En este sentido, se sugiere incluir información sobre las instituciones participantes en el proceso y el rol asumido por cada una de ellas.

En respuesta a las sugerencias de la CMNUCC, la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, a través de la Coordinación del Programa de Cambio Climático del Instituto Nacional de Ecología, establecieron ciertos arreglos institucionales hacia el interior y con otras Secretarías de Estado e instituciones

públicas y privadas para el desarrollo del INEGEI 1990-2002.

Hacia el interior del INE, la Coordinación del Programa de Cambio Climático adecuó una estructura de trabajo con actividades, roles y responsabilidades funcionales, definidos de tal manera que

facilitara la preparación del inventario y se lograra la plena satisfacción de los objetivos de calidad. De manera general, se definieron siete roles con actividades y responsabilidades definidas para el desarrollo y actualización del INEGEI según se describen a continuación:

TABLA 1.1 ROLES Y ACTIVIDADES DE LOS PARTICIPANTES EN EL DESARROLLO DEL INEGEI 2002

ROLES	ACTIVIDADES Y RESPONSABILIDADES
Coordinador General	Supervisa y coordina la preparación y desarrollo del INEGEI. Mantiene contacto con agencias gubernamentales y organismos empresariales que actúan como fuentes de información. Coordina las solicitudes de información. Convoca a reuniones de inicio, seguimiento y cierre del proceso de desarrollo del INEGEI. Establece objetivos y fechas límite. Supervisa el texto final del Informe del Inventario. Supervisa el ciclo del INEGEI.
Coordinador de QA/QC	Prepara y mantiene el Plan de Calidad. Supervisa la aplicación de los procedimientos de QA/QC. Emite recomendaciones durante el proceso de estimación. Coordina la revisión del INEGEI por parte de expertos externos y asegura que el texto final considere las observaciones recibidas.
Coordinador de Aspectos Metodológicos	Define las metodologías a emplear y las directrices generales a seguir en el desarrollo y actualización del INEGEI. Asesora a los Coordinadores de Categoría en la elección de factores de emisión acordes.
Coordinador de Documentación del reporte y análisis de incertidumbre	Coordina la preparación del texto del Informe del Inventario. Codifica y mantiene los archivos impresos y electrónicos del INEGEI. Prepara y mantiene los archivos de datos, información base y resultados. Resguarda los documentos del INEGEI. Supervisa la publicación y distribución del Reporte del Inventario.
Coordinador de Categoría	Selecciona y recolecta información base para el desarrollo y actualización del INEGEI. Supervisa las actividades de los consultores en esa categoría. Prepara el texto para informar las emisiones de la categoría correspondiente. Aplica los procedimientos de Control de Calidad (QC). Estima la incertidumbre existente en los cálculos de emisiones de la categoría. Ejecuta acciones correctivas recomendadas para asegurar la calidad del INEGEI.
Consultor de categoría	Recolecta y registra información y datos base. Prepara los datos y calcula las emisiones de la categoría correspondiente. Colabora en el desarrollo del reporte de emisiones de la categoría.
Experto externo	Realiza las actividades y aplica los procedimientos de Aseguramiento de Calidad (QA). Emite recomendaciones y observaciones para la mejora del INEGEI. Valida y verifica el contenido del informe de categoría, del Informe del Inventario y de las estimaciones. Sugiere correcciones al INEGEI previo a su publicación con respecto a los atributos de calidad.

Con base en la experiencia en la realización de los inventarios anteriores, el INE invitó a una serie de expertos, tanto independientes como provenientes de instituciones de reconocida trayectoria en el tema de cambio climático y desarrollo de inventarios de emisiones, para participar en la preparación del Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero 1990 - 2002. Los expertos asumieron los roles descritos en la tabla 1.1; de esta manera, la Coordinación del Programa de Cambio Climático logró una estructura interna que pudiera cubrir los diferentes aspectos propios del desarrollo del INEGEI (ver figura 1.1).

Por su parte, y ante los requerimientos de información propios del desarrollo del INEGEI, la Coordinación del Programa de Cambio Climático invitó a otras instituciones públicas y privadas a colaborar en el proyecto. Dicha colaboración facilitó la recolección de datos, la revisión y validación externa del INEGEI.

Así, el desarrollo del INEGEI se apoyó en la colaboración recibida por las instituciones y organizaciones de la Tabla 1.2.

1.2.1. Descripción del proceso de preparación del inventario

La preparación del INEGEI 2002 se realizó en cinco fases: 1) inicio, 2) desarrollo, 3) compilación, 4) generación de informe, 5) revisión y publicación.

1. *Inicio*: en esta fase se convocó a una reunión a los coordinadores y expertos del inventario para discutir las metodologías y buenas prácticas a seguir en la preparación del Inventario. Se presentó un programa de trabajo donde se establecieron las fechas de cada fase; se distribuyeron las versiones electrónicas de las hojas de cálculo y las guías me-

FIGURA 1.1 ESTRUCTURA DE LOS ARREGLOS INSTITUCIONALES

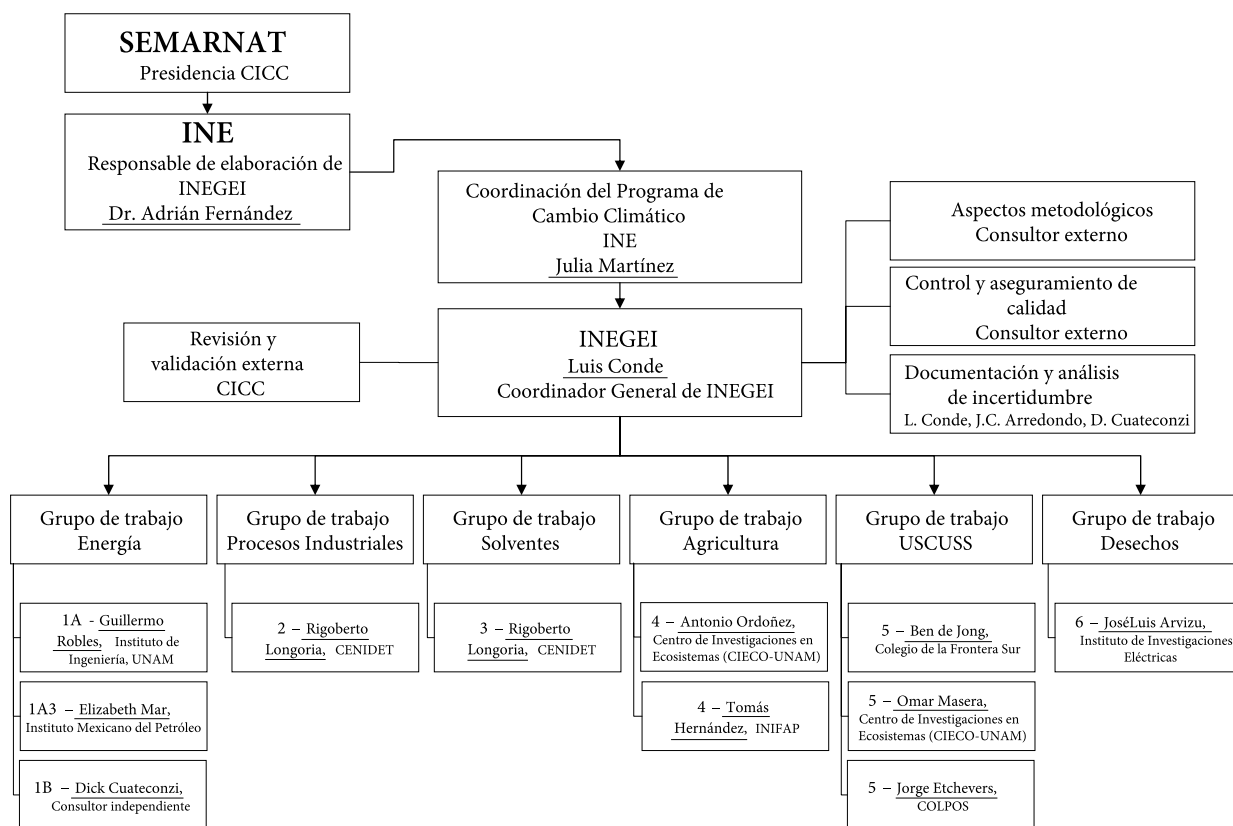


TABLA 1.2 ARREGLOS INSTITUCIONALES PARA RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

INSTITUCIONES	CATEGORÍAS DE EMISIÓN
Secretaría de Energía (SENER) Petróleos Mexicanos (PEMEX)	Energía
Secretaría de Economía Consejo de Recursos Minerales Arkema Quimobásicos DUPONT Comisión Federal de Electricidad (CFE)	Procesos Industriales
Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) Instituto Nacional de Estadística, Geografía e informática (INEGI)	USCUSS
Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL) Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT)	Residuos

todológicas a seguir; se definieron los objetivos y los parámetros de calidad a cumplir en el INEGEI; se discutieron las recomendaciones recibidas por expertos externos respecto al último inventario realizado por México. Mediante un cuestionario aplicado a los expertos, se detectaron las necesidades de información para cada sector. El INE tomó como base dicha información para solicitar datos de actividad a entidades o instituciones relevantes. Finalmente, de manera conjunta entre los expertos del grupo de trabajo y los coordinadores del inventario, se revisaron las metodologías a emplear en la estimación de las emisiones de la categoría de emisión correspondiente.

2. *Desarrollo:* En un plazo de 6 meses se recopiló la información para cada categoría o sector de emisión, se registraron en las hojas de cálculo, los datos de la información obtenida, se estimaron las emisiones y se preparó, por parte del experto del sector, un informe con las estimaciones, así como el análisis realizado y las fuentes de información consultadas. Durante esta fase, los coordinadores del Inventario dieron seguimiento a las solicitudes de informa-

ción realizadas por los expertos y se les apoyó en la obtención de datos adicionales que fueran necesarios para las estimaciones. Al concluir, cada experto de categoría entregó su información a la Coordinación General del Inventario, incluyendo las hojas de cálculo correspondientes; posteriormente, se realizó la evaluación de calidad según lo estipula el Plan de Calidad del Inventario.

3. *Compilación:* En la fase de compilación, los coordinadores del inventario revisaron los informes y las hojas de cálculo y evaluaron el cumplimiento de los lineamientos establecidos. Tras el control de calidad, se registraron las estimaciones de cada categoría de emisión y sector y se consolidó la información para integrar el inventario. Se estimaron las tendencias de las emisiones por categoría de emisión y por gas de efecto invernadero y se estimaron las incertidumbres general y por categoría.
4. *Generación de informe:* Con base en lo presentado por cada experto, se integró el informe final del inventario según el formato preparado previamente.
5. *Revisión y publicación:* El informe final, se sometió a la revisión de los expertos externos y del público

TABLA 1.3 PROCESO DEL INVENTARIO

2005

Proceso y Actividades	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic
Arranque 1.Convocar a reunión de inicio a Coordinadores, Expertos externos y staff 2.Presentar nuevos procesos o métodos a seguir en el inventario de este año 3.Mostrar programa de trabajo de este año (tiempos para entrega, revisión, análisis, recepción de opinión, revisión final y publicación) 4.Distribuir versión electrónica de hojas de cálculo y texto del inventario del año anterior a cada Coordinador de Categoría 5.Distribuir guías metodológicas y programa de calidad de este año a cada Coordinador de Categoría 6.Generar memorándum de inicio de inventario de este año												
Desarrollo 1.Iniciar la recopilación de datos para su categoría correspondiente 2.Revisar metodología para estimación de emisiones a.Si es misma metodología de año anterior, recolectar datos nuevos no usados previamente y actualizar los datos que hayan cambiado b.Si es nueva metodología, desarrollar hojas de cálculo a emplear, recolectar datos de actividades, de factores de emisión y de mediciones directas para toda la serie de tiempo hasta el año base. 3.Registrar datos recopilados en hojas de cálculo 4.Estimar emisiones y sumideros de emisiones siguiendo metodología 5.Actualizar (o desarrollar) texto del inventario con la información generada, incluyendo análisis y fuentes bibliográficas, y cumpliendo con requisitos de calidad solicitados en reunión de inicio 6. Aplicar procedimientos de Aseguramiento y Control de Calidad 7.Entregar inventario (hojas de cálculo y texto) al Coordinador de Documentación y Manejo de Datos												
Compilación 1.Recibir las hojas de cálculo y los textos enviados por los Coordinadores de Categoría 2.Enviar hojas de cálculo a Coordinador de Aseguramiento de Calidad a.Revisar que se hayan seguido los lineamientos de calidad b.Preparar material para Auditores externos (aseguramiento de calidad) 3.Agregar información de las categorías y registrar el inventario de cada categoría en una hoja de cálculo de resumen 4.Estimar tendencias del inventario de acuerdo a metodología 5.Enviar hojas de cálculo a Coordinador de Análisis de Incertidumbre a.Estimar incertidumbre por categoría, por actividad y por factor de emisión b.Elaborar texto sobre incertidumbre del inventario												
Generación de informe 1.Recolectar y conjuntar texto generado por cada Coordinador de Categoría 2.Redactar texto y substituir en el formato del "informe del Inventario" a.Reemplazar texto para el informe del año en curso b.Reemplazar anexos del informe c.Redactar Resumen Ejecutivo del inventario y resumen ejecutivo por capítulo (categoría) del informe d.Redactar Introducción del informe e.Redactar Análisis de tendencias, incluyendo información de clima, actividad económica, población, consumo de energía e información de otras variables que afectan la tendencia de emisión f.Finalizar informe 3.Enviar informe a Expertos externos para su revisión, solicitando comentarios y observaciones.												
Revisión y publicación 1.Realizar talleres de revisión del informe 2.Realizar modificaciones al contenido con base en los comentarios y observaciones recibidos por Expertos externos y durante los talleres 3. Presentación de los resultados del inventario.												

en general a través de un sitio web; con base en los comentarios y observaciones recibidas se hicieron las últimas adecuaciones y correcciones al documento. Una vez concluido el informe, se generó la versión final para publicación.

La tabla 1.3 resume el proceso de preparación del inventario.

1.2.2. Descripción de las metodologías y fuentes de datos empleadas

Durante el proceso de preparación y documentación del inventario se llevó registro de las metodologías y factores de emisión empleados en los cálculos de las emisiones de cada categoría de emisión y sector, de acuerdo a la notación (Tablas 1.4 y 1.5)).

En cada capítulo se hace referencia específica al nivel metodológico y factor de emisión empleados para las estimaciones de los GEI de cada categoría.

TABLA 1.4 NOTACIÓN DEL PICC PARA REGISTRO DE METODOLOGÍA USADA

DEFECTO DE IPCC	D
Método de Referencia	RA
Tier1 del IPCC	T1
Tier1a, Tier 1b, Tier 1c del IPCC	T1a, T1b, T1c
Tier 2 del IPCC	T2
Tier 3 del IPCC	T3
CORINAIR	CR
Específico del país	CS
Otro	OTH

TABLA 1.5 NOTACIÓN DEL PICC PARA REGISTRO DEL FACTOR DE EMISIÓN USADO

DEFECTO DE IPCC	D
CORINAIR	CR
Específico del país	CS
Específico del sector / de la empresa	PS
Otro	OTH

El registro de metodologías y factores de emisión se archiva en electrónico como parte de la documentación de la preparación del INEGEI, como una referencia para la elaboración de los futuros inventarios de emisiones de GEI.

Por otra parte, se identificaron las principales fuentes de información para el INEGEI. Mediante contacto directo o a través de publicaciones y sistemas de información electrónica, se obtuvieron los datos de actividad de cada categoría de emisión.

La tabla 1.6 enlista a las instituciones que aportaron información para la elaboración del INEGEI así como el tipo de dato brindado.

1.3. Plan para el control de calidad y aseguramiento de la información

Las Guías de las Buenas Prácticas recomiendan el desarrollo e implementación de un plan de calidad acorde a las circunstancias nacionales en apoyo a la preparación del INEGEI. Este plan debe contener procedimientos y técnicas de revisión y aseguramiento de calidad para mejorar la transparencia, consistencia, comparabilidad, exhaustividad y exactitud de las estimaciones de las emisiones reportadas en el inventario de GEI.

Como parte del sistema del INEGEI, México desarrolló y aplicó un plan de calidad consistente con las recomendaciones de las Guías de las Buenas Prácticas, las Directrices del PICC y la Guía para la preparación de Comunicaciones Nacionales de Partes No-Anexo I.

El Plan de Calidad está integrado por:

- la declaratoria de los objetivos de calidad del INEGEI;
- la definición de los atributos de calidad del INEGEI;
- la definición de la estructura organizacional aplicable a las actividades de calidad;
- la definición de los roles y responsabilidades adquiridos o asignados dentro de dicha estructura;
- la definición de procedimientos, actividades y formatos para el control y el aseguramiento de la cali-

TABLA 1.6 PRINCIPALES FUENTES DE DATOS CONSULTADAS DURANTE LA PREPARACIÓN DEL INVENTARIO

INSTITUCIÓN	SECTOR	TIPO DE DATO
Asociación Mexicana de la Industria Automotriz (AMIA)	Energía, sector transporte	Estadísticas de transporte
PEMEX	Energía	Producción de combustibles
SENER	Energía	Balance Nacional de Energía-consumo de energía por sector y por tipo de combustible
SCT	Energía, sector transporte	Estadísticas de transporte
Asociación Nacional de la Industria Química (ANIQ)	Procesos industriales	Producción y consumo de productos químicos
Cámara Nacional del Cemento	Procesos industriales	Producción y consumo de cemento
Cámara Nacional de la Industria Azucarera y Alcohólera	Procesos industriales	Producción de azúcar y alcohol de caña
Cámara Nacional de la Industria de la Transformación (CANACINTRA)	Procesos industriales	Producción y consumo de productos químicos
Comisión Federal de Electricidad (CFE)	Procesos Industriales	Equipos eléctricos con gases fluorados
Consejo de Recursos Minerales (COREMI)	Procesos industriales	Producción de minerales y metales en México
DUPONT	Procesos Industriales	Producción y consumo de gases fluorados (halocarbonos)
Quimobásicos	Procesos Industriales	Producción y consumo de gases fluorados (halocarbonos)
PEMEX	Procesos industriales	Producción de petroquímicos y otros derivados del petróleo
USGS	Procesos industriales	Producción de minerales en México
FAO	Agricultura	Producción agrícola en México
INEGI	Agricultura	Producción agrícola y ganadera
SAGARPA-SIACON	Agricultura	Producción agrícola y ganadera
Comisión Nacional Forestal (CONAFOR)	USCUSS	Inventario Nacional Forestal, programas forestales
INEGI	USCUSS	Cobertura vegetal y uso de suelo
Comisión Nacional del Agua (CNA)	Residuos	Aguas residuales
SEDESOL	Residuos	Residuos sólidos no peligrosos
SEMARNAT	Residuos	Incineración de residuos
COLPOS	USCUSS	Uso de suelos

dad, incluyendo las actividades de revisión interna y externa, registro, manejo y archivo de datos e informes, detección y corrección de errores y omisiones; y

- f) la definición de la estimación del nivel de incertidumbre global y para cada categoría o fuente de emisión incluida en el INEGEI.

El Plan de Calidad contempla los lineamientos estipulados en las decisiones de las Conferencias de las Partes (Tabla 1.7).

Adicionalmente, el Plan de Calidad toma algunos lineamientos del Órgano Subsidiario de Asesoramiento Científico y Tecnológico (OSACT) de la CMNUCC publicados en la Tabla 1.8).

Así mismo, el Plan de Calidad contempla las recomendaciones establecidas en las siguientes guías y estándares internacionales:

- Directrices del PICC para los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero – versión revisada de 1996¹.

¹ IPCC (1997). Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gases Inventories. Disponible en: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/invs1.htm>

TABLA 1.7 LINEAMIENTOS DEL PLAN DE CALIDAD DE LA COP

DOCUMENTO	DECISIÓN	DESCRIPCIÓN DE CONTENIDO
FCCC/CP/1995/7/Add.1	4/CP.1	Aspectos metodológicos.- Uso, por parte de países no incluidos en Anexo I, de las metodologías adoptadas por el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (PICC) para el desarrollo de Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero.
FCCC/CP/1996/15/Add.1	10/CP.2	Comunicaciones de países no incluidos en Anexo I de la Convención: guías, facilitación y procesos a considerar
FCCC/CP/1997/7/Add.1	2/CP.3	Aspectos metodológicos del Protocolo de Kioto.- uso de las Guías revisadas del PICC 1996 para Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero
FCCC/CP/2002/7/Add.2	17/CP.8	Guías para la preparación de Comunicaciones Nacionales de países no incluidos en Anexo I de la Convención

TABLA 1.8 LINEAMIENTOS PARA EL PLAN DE CALIDAD DE LA OSACT

DOCUMENTO	DESCRIPCIÓN DE CONTENIDO
FCCC/SBSTA/2004/8	Guías para la preparación de Comunicaciones Nacionales a las Partes incluidas en el Anexo I de la Convención, Parte I: Guías de la CMNUCC para reporte de inventarios nacionales.

- Orientación del PICC sobre las Buenas Prácticas y la gestión de la incertidumbre en los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero².
- Guías de Buenas Prácticas para Uso de suelo, cambio de uso de suelo y silvicultura (USCUSS)³

Los puntos incorporados en el Plan de Calidad corresponden a los elementos mínimos recomendados por el PICC para el desarrollo de un sistema de Control y Aseguramiento de la Calidad según lo establece el capítulo 8.3 de la Guía de Buenas Prácticas:

- *El sistema de QA/QC debe tener un responsable designado cuya función es mantener e implementar el Plan de Calidad y coordinar las actividades derivadas del mismo.*
- *Preparación y mantenimiento de un Plan de Calidad.*
- *Procedimientos generales (Tier 1) y específicos a cada categoría de emisión (Tier 2) para el Control de Calidad.*
- *Procedimientos de revisión para el Aseguramiento de la Calidad.*

² IPCC (2000). Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gases Inventories. Disponible en: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gp/english/>

³ IPCC. (2003). Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry. Disponible en: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gplulucf/gplulucf.htm>

- *Procedimientos para el reporte, documentación y archivos del INEGEI.*

La aplicación del Plan de Calidad cubre todo el proceso de estimación de las emisiones de GEI y evalúa los siguientes puntos del proceso:

- Selección de fuentes de información
- Recolección de datos e información base
- Registro y captura de datos
- Preparación de datos y estimación de emisiones
- Revisión de estimaciones
- Documentación del reporte de emisiones
- Documentación de citas y referencias bibliográficas
- Manejo y archivo de documentos maestros

Las Directrices del PICC especifican cinco atributos que deben ser empleados por los países miembros de la CMNUCC para evaluar la calidad de sus inventarios. Cada atributo, mismo que fue evaluado en la preparación del INEGEI, posee una definición según se describe a continuación:

Exhaustividad (Completo): el inventario es completo o exhaustivo si cubre todas las fuentes y sumideros y todos los gases incluidos en las Directrices del PICC, así como otras fuentes y sumideros existentes y relevantes para el país. Además, el inventario es exhaustivo si en sus estimaciones cubre las fuentes y sumideros de la totalidad del territorio nacional.

Consistencia: el inventario es consistente si se emplearon las mismas metodologías en el cálculo de las emisiones y capturas para el año base y para todos los años siguientes y si se utilizan conjuntos de datos coherentes para calcular las emisiones.

Comparabilidad: el inventario es comparable si las estimaciones y capturas reportadas en el *Reporte Nacional del Inventario* pueden compararse entre países. Por tanto, para que el inventario sea comparable se deben emplear las metodologías y formatos acordados por la Conferencia de las Partes (COP) para la estimación de inventarios. Además, el inventario debe ceñirse a las categorías y niveles de desagregación que se indican en las Directrices del PICC.

Transparencia: el inventario es transparente si los supuestos y las metodologías empleadas en las estimaciones están claramente explicados en el *Reporte Nacional del Inventario* de tal manera que se facilite la réplica y evaluación del inventario.

Exacto: el inventario es exacto si reporta estimaciones que no están sistemáticamente por arriba o por debajo de las emisiones y absorciones efectivas o reales del país, hasta donde pueda apreciarse y si las incertidumbres están reducidas al mínimo posible.

Para el control de calidad de las estimaciones del INEGEI, se desarrollaron formatos de revisión estructurados de la siguiente forma:

- Un formato de seguimiento a la entrega del reporte de cada categoría para la integración del documento general del INEGEI.
- Un formato para evaluar la exhaustividad en la preparación del INEGEI, con el cual se revisó cuáles sectores dentro de cada categoría de emisión fueron estimados para el período cubierto por el INEGEI 2002.
- Un formato de evaluación general donde se revisaron los atributos de transparencia, consistencia, comparabilidad y exactitud.
- Un formato específico de evaluación en donde se revisaron los atributos de calidad por cada categoría de emisión.

Una vez que las revisiones de control de calidad fueron realizadas y documentadas con la ayuda de los formatos, se discutieron estos resultados con los coordinadores de cada categoría de emisión, de tal manera que se solventaran las observaciones, omisiones e inconsistencias detectadas.

1.4. Breve descripción de las fuentes clave

El análisis sobre las fuentes clave del INEGEI 2002 se hizo siguiendo los lineamientos indicados en la sección 7 “Elección de la Metodología y Realización de Nuevos Cálculos” de la Guía de las Buenas Prácticas del PICC, particularmente en lo relativo a la evaluación por nivel

y tendencia de las fuentes del inventario. En este análisis se excluyeron las categorías de emisión 3 y 5 que corresponden a “Solventes y uso de otros productos” y “Uso de Suelo, Cambio de uso de suelo y silvicultura” porque la misma metodología no los considera.

Debido a que no se cuenta con la estimación de incertidumbres para todas las categorías de cada sector, se optó por estimar las fuentes clave evaluando el nivel y la tendencia por el método básico. En la evaluación del nivel se determina la contribución que tienen las emisiones de cada una de las categorías y los sectores a las emisiones totales, mientras que en la evaluación de tendencia se determina la contribución general de las emisiones del inventario. Esta última evaluación permite identificar las fuentes que tienen una tendencia diferente de la tendencia general del inventario, multiplicado por el resultado de la evaluación por nivel para lograr una ponderación adecuada. Por lo tanto, una *categoría principal de fuente* será aquella cuya tendencia difiera significativamente de la tendencia total, ponderada por el nivel de emisiones de la correspondiente categoría de fuente. Se utilizaron la ecuación 7.1, para evaluar el nivel y la ecuación 7.2, para la tendencia, descritas en la Guía de las Buenas Prácticas.

Para la evaluación de nivel, las categorías fueron agrupadas por tipo de gas (CO_2 , CH_4 , N_2O , HFCs, PFCs, y SF_6) y ordenadas de mayor a menor magnitud con respecto a los valores de las emisiones en CO_2 equivalente para los siguientes años; 1990, 1992, 1994, 1996, 1998, 2000 y 2002. El siguiente paso fue calcular el nivel utilizando la ecuación 7.1 de las Guías de las Buenas Prácticas y determinar el total acumulativo para todas las fuentes consideradas. Las categorías principales de fuentes son aquellas que sumadas en orden descendente de magnitud componen más del 95% de las emisiones totales del inventario.

En la tabla 1.9 se muestra la evaluación de fuentes clave por nivel para el año 2002; los resultados para cada uno de los otros años arriba mencionados se incluyen en el anexo C. Durante todo el periodo 1990-2002, trece fuentes son las que llegan a acumular más del 95% de las emisiones; destacan las subcategorías del transporte, la producción de electricidad y manufactura e industria de la construcción como las tres

más importantes, seguidas de la fermentación entérica, la refinación del petróleo y las emisiones fugitivas del petróleo y gas natural. Siete de las trece fuentes pertenecen a la categoría de Energía.

Para la evaluación de la tendencia, las fuentes seleccionadas se ordenaron en función del valor de las emisiones de CO_2 , CH_4 , N_2O , HFCs, PFCs, y SF_6 en CO_2 equivalente, correspondientes al año de la evaluación, es decir 1992, 1994, 1996, 1998, 2000 y 2002. Se estimó la tendencia con respecto al año base (1990) a excepción del HFC para el cual se tomó 1992 como año de referencia, dado que no existen datos de emisiones previos a 1992. El siguiente paso fue la estimación del porcentaje de contribución de cada sector a la tendencia y finalmente la estimación del total acumulado tal como marca la metodología.

Los resultados indican que, dependiendo del año, el número de fuentes que contribuye con más del 95% de la tendencia del inventario varía entre 13 y 15 en el período 1992-2002. Las principales categorías en el periodo de análisis son la producción de electricidad y la manufactura e industria de la construcción; sin embargo, la disposición de residuos sólidos presenta una variación en tendencia la cual aumenta de 1992 a 1996 rápidamente y posteriormente cae a un tercer lugar en 2002. En cuanto a la fermentación entérica y la refinación del petróleo, éstas han ocupado entre el cuarto y sexto sitio en esta clasificación para todos los años analizados. El transporte por su lado, presenta un descenso por tendencia, pasando como primera categoría principal en 1992 a ocupar el quinto lugar en 1998 y hasta ocupar la posición número 12 en el 2002. Para las emisiones fugitivas de gas y petróleo, su variación por tendencia pasa de un sexto lugar en 1992 hasta ocupar el número 15 en 1998 para después subir la posición 11 en el 2002. Para el período analizado, seis de las fuentes pertenecen a la categoría de Energía.

Es posible que esta distribución cambie de manera significativa si se incluyen las categorías de uso de suelo, cambio de uso de suelo y silvicultura. Sin embargo, un análisis completo de todas las fuentes permitirá en un futuro corroborar lo anterior. Los resultados para cada año siguiendo esta metodología se presentan en el anexo C de este documento.

TABLA 1.9 EVALUACIÓN DE FUENTES CLAVE POR NIVEL PARA 2002

A		B	C		D	E	F
2002			Eq. CO ₂		Eq. CO ₂		
CATEGORÍA DE FUENTE SEGÚN EL PICC	SECTOR	GASES DE EFECTO INVERNADERO DIRECTO	ESTIMACIÓN DEL AÑO BASE (Gg)	ESTIMACIÓN DEL AÑO EN CURSO (Gg)	EVALUACIÓN DEL NIVEL	TOTAL ACUMULADO DE LA COLUMNA E	
1A1a	Producción de electricidad	Energía	CO ₂	66719.168	115449.087	0.208664335	20.87%
1A3	Transporte	Energía	CO ₂	87784.474	111959.959	0.202358036	41.10%
1A2	Manufactura e industria de la construcción	Energía	CO ₂	56624.301	51025.368	0.092223982	50.32%
4A	Fermentación entérica	Agricultura	CH ₄	38802.615	37366.876	0.067537428	57.08%
1A1b	Refinación de petróleo	Energía	CO ₂	37987.856	37020.277	0.06691098	63.77%
1B2	Emisiones Fugitivas Petróleo y gas natural	Energía	CH ₄	30564.730	36690.761	0.066315408	70.40%
6A	Disposición de residuos sólidos en suelo	Residuos	CH ₄	16294.383	34960.611	0.06318831	76.72%
2A	Productos minerales	Procesos Industriales	CO ₂	15402.296	30618.698	0.055340674	82.25%
6B	Manejo y tratamiento de aguas residuales	Residuos	CH ₄	15476.076	28566.615	0.05163171	87.42%
1A4b	Residencial	Energía	CO ₂	18343.169	19277.118	0.03484174	90.90%
2C	Producción de metales	Procesos Industriales	CO ₂	11792.283	15322.440	0.027693998	93.67%
4D	Suelos agrícolas	Agricultura	N ₂ O	7100.481	7449.319	0.013464006	95.02%
1A4c	Agricultura, pesca y forestal	Energía	CO ₂	4986.497	5883.832	0.010634522	96.08%

En general, en el país no se dispone de mediciones directas de gases de efecto invernadero emitidos por fuentes fijas y de área. Los sectores de la categoría Energía se identifican como fuente clave, sin embargo no se tiene información desagregada de consumo de combustibles por tipo de tecnología por lo que la estimación de emisiones se realiza con un método de nivel 1. Por otra parte, se hace uso de factores de emisión por defecto al no existir factores de emisión propios del país o de la región. En el sector de generación de energía se trata de adecuar factores de emisión nacionales al tipo de tecnología existente en el país, pero no son suficientes para lograr una estimación de nivel 2; por tanto, las emisiones de las subcategorías de fuentes fijas y de área se estiman con metodologías de nivel 1.

En el caso del sector Transporte [1A3], no es posible estimar los kilómetros recorridos por tipo de

vehículo ni por tipo de tecnología; sin embargo, se emplean factores de emisión por tipo de combustible, en donde se ponderan los factores para vehículos sin y con convertidor catalítico de tres vías, en un esfuerzo por reflejar la incorporación de tecnología anticontaminante en los modelos más recientes del parque vehicular. Por tal motivo, las emisiones de este sector se estimaron con un método de nivel 1.

Las emisiones fugitivas [1B] se identifican como fuente clave, sin embargo, no se cuenta con información detallada sobre la infraestructura del sistema de gas natural y petróleo del país, ni con mediciones directas de las emisiones; tampoco se cuenta con factores de emisión nacionales para esta fuente clave por lo que finalmente las emisiones se estiman con factores de emisión por defecto del PICC y haciendo uso del método de nivel 1.

TABLA 1.10 EVALUACIÓN DE FUENTES CLAVE POR TENDENCIA PARA 2002

A		B	C	D	E	F	G	
2002			Eq. CO ₂	Eq. CO ₂				
CATEGORÍA DE FUENTE SEGÚN EL PICC	SECTOR	GASES DE EFECTO INVERNADERO DIRECTO	ESTIMACIÓN DEL AÑO BASE (Gg)	ESTIMACIÓN DEL AÑO EN CURSO (Gg)	EVALUACIÓN DE LA TENDENCIA	% DE CONTRIBUCIÓN A LA TENDENCIA	TOTAL ACUMULATIVO DE LA COLUMNA F	
1A1a	Producción de electricidad	Energía	CO ₂	66719.168	115449.087	0.040	21.19%	21.19%
1A2	Manufactura e industria de la construcción	Energía	CO ₂	56624.301	51025.368	0.031	16.74%	37.93%
6A	Disposición de residuos sólidos en suelo	Residuos	CH ₄	16294.383	34960.611	0.019	10.18%	48.11%
4A	Fermentación entérica	Agricultura	CH ₄	38802.615	37366.876	0.018	9.70%	57.81%
1A1b	Refinación de petróleo	Energía	CO ₂	37987.856	37020.277	0.017	9.17%	66.98%
2A	Productos minerales	Procesos Industriales	CO ₂	15402.296	30618.698	0.015	7.83%	74.80%
6B	Manejo y tratamiento de aguas residuales Residencial	Residuos	CH ₄	15476.076	28566.615	0.012	6.24%	81.04%
2F6	Consumo de halocarbonos y hexafluoruro de azufre	Energía	CO ₂	18343.169	19277.118	0.006	3.39%	84.43%
		Procesos Industriales	HFCs	40.352	4425.158	0.006	3.23%	87.67%
2B	Industria química	Procesos Industriales	CO ₂	3948.300	1128.000	0.006	2.96%	90.63%
1B2	Emisiones Fugitivas Petróleo y gas natural	Energía	CH ₄	30564.730	36690.761	0.004	2.27%	92.90%
1A3	Transporte	Energía	CO ₂	87784.474	111959.959	0.003	1.66%	94.56%
4D	Suelos agrícolas	Agricultura	N ₂ O	7100.481	7449.319	0.002	1.32%	95.88%

La subcategoría de emisión Residuos sólidos [6A] se identifica como fuente clave, pero no es posible estimar las emisiones con un nivel metodológico diferente al método por defecto del PICC (nivel 1) porque no se cuenta con información histórica previa a 1990 sobre la disposición y manejo de residuos sólidos en el país ni de la composición de los residuos que fueron depositados en tiraderos más antiguos.

La subcategoría de aguas residuales [6B] también se identifica como una fuente clave; sin embargo, en el país no se tiene una caracterización completa o bien documentada de todas las fuentes de aguas residuales, ni parámetros nacionales que brinden datos generales sobre la operación y parámetros de las plantas de tratamiento del país. En este caso, las emisiones se estimaron con una metodología de nivel 1.

Dentro de la categoría de Procesos Industriales [2], las subcategorías de productos minerales [2A], industria química [2B] y consumo de halocarbonos y hexafluoruro de azufre [2F] fueron identificadas como fuentes clave. De manera general, la estimación de emisiones se realizó con la metodología de nivel 1 y únicamente fue posible el uso de una metodología de nivel 2 en la estimación de emisiones generadas por la producción de hierro y acero; el uso de un método de nivel 1 se deriva de las siguientes puntos específicos de los diferentes sectores estimados en la categoría de Procesos Industriales: a) producción de cemento (2A1): no se tienen los datos disponibles sobre producción de clínca en el país, ni el contenido de CaO en la clínca; b) producción de óxido e hidróxido de calcio (2A2): se desconocen datos de la estructura

de la cal producida en el país (contenido de agua en la cal hidratada); c) producción de aluminio (2C3): la información sobre el tipo de proceso empleado en la producción de aluminio no está disponible; d) equipos eléctricos e interruptores automáticos (2F6): no se dispone de información sobre recarga y destrucción de gas SF₆ en los equipos, el ciclo de vida de los equipos que contienen SF₆, la comercialización de gas SF₆ en el país, o la recuperación de SF₆ de equipos obsoletos, ni el detalle anual de los equipos con SF₆ adquiridos para la totalidad del sistema eléctrico nacional.

En la categoría Agricultura [4], la subcategoría de fermentación entérica [4A] se identificó como una fuente clave de emisión. En la estimación de emisiones se emplea una metodología de nivel 1, derivado de una falta de información en cuanto al peso promedio de cada tipo de ganado, el aumento en peso a lo largo del año, la ingesta y la situación de alimentación de cada tipo de ganado y la tasa de conversión a metano de la ingesta diaria.

De manera similar, la subcategoría de suelos agrícolas [4D] se identificó como una fuente clave. La estimación de emisiones se realizó con una metodología de nivel 1, dado que no se cuenta en el país con información propia sobre la fracción de nitrógeno proveniente de excreta animal que se emite como NO_x o amonio, o lo que es depositado en el suelo durante el pastoreo. Por tal motivo, se recurre a datos de actividad informados por agencias internacionales y a valores por defecto.

Como puede observarse, la disponibilidad de datos de actividad y de factores de emisión propios del país es la principal limitante en el uso de metodologías de nivel 2 o superior en la estimación de emisiones de GEI. Aún con el uso de metodología de nivel 1, en el INEGEI 2002 se siguen las recomendaciones de las Guías de las Buenas Prácticas en cada estimación.

1.5. Breve descripción de las incertidumbres

De acuerdo con las Guías de Buenas Prácticas del PICC, la estimación de incertidumbres es un elemento esencial de un inventario de emisiones completo. La

estimación y reporte de las incertidumbres permiten priorizar los esfuerzos por mejorar la exactitud de los inventarios en el futuro, definir los temas específicos en los que es necesario realizar investigación para mejorar los atributos del inventario y orientar las decisiones sobre la elección de la metodología.

La incertidumbre puede estar asociada con la determinación de los factores de emisión, la vigilancia continua de emisiones, la extracción de factores de emisiones de fuentes publicadas o de los datos de actividad.

En el caso del INEGEI 2002, las incertidumbres en el inventario están asociadas tanto a los factores de emisión elegidos para cada fuente como a los datos de actividad empleados en las estimaciones. Tal como lo sugieren las Guías de las Buenas Prácticas, no se consideran las incertidumbres asociadas a los valores de Potencial de Calentamiento Global, ni se estiman las mismas para los gases de efecto invernadero indirecto (CO, NO_x, SO₂, CO₂DM).

Para este inventario se utiliza la metodología del nivel 1 “Estimación de las incertidumbres por categoría de fuentes con supuestos simplificados”, recomendado en el capítulo 6 de la Guía de las Buenas Prácticas del PICC. Con base en la metodología se calcularon los valores de incertidumbre asociados a las estimaciones anuales de emisiones y a su tendencia en el transcurso del tiempo.

Para ello se utilizó el cuadro 6.1 de las Guías de las Buenas Prácticas del PICC, cuyos resultados se pueden consultar en el anexo D de este documento y en la tabla resumen que se presenta en la Tabla 1.11.

Los valores de incertidumbre presentados en la tabla 1.11 contemplan las subcategorías y sectores para los cuales fue posible estimar de manera individual un valor de la incertidumbre para el año 2002, ya sea para el dato de actividad y/o para el factor de emisión, según se muestra de manera desglosada en la tabla del anexo D. El total de las emisiones consideradas para el cálculo de los valores de incertidumbre representan el 96% de las emisiones totales del inventario.

De acuerdo a esta aproximación se estima que el inventario nacional de emisiones de gases de efecto invernadero 2002 tiene una incertidumbre combina-

TABLA 1.11 INCERTIDUMBRE TOTAL DEL INVENTARIO Y POR CATEGORÍA

CATEGORÍA	EMISIONES AÑO BASE (Gg)	EMISIONES AÑO 2002 (Gg)	INCERTIDUMBRE COMBINADA COMO % DEL TOTAL DE EMISIONES NACIONALES EN EL AÑO 2002	INCERTIDUMBRE INTRODUCIDA EN LA TENDENCIA EN LAS EMISIONES NACIONALES TOTALES
1. Energía	308,766.16	390,100.92	3.06	1.92
2. Procesos Industriales	23,973.00	31,486.00	0.62	0.06
4. Agricultura	47,426.51	46,146.16	1.74	2.20
5. USCUS	86,811.00	86,811.00	4.38	1.32
6. Desechos	31,770.90	63,527.65	3.31	1.92
Total Estimado	498,747.57	618,071.73	6.55*	3.74*
Emisiones totales	512,079.00	643,183.00	---	---

$$* \sqrt{\sum x^2}$$

da global del 7% y de 4% por la incertidumbre introducida en la tendencia de las emisiones.

En el análisis de incertidumbre se consideran dos resultados específicos: a) la incertidumbre combinada que aporta el sector o subcategoría con respecto a la incertidumbre total del inventario para el año 2002 y b) la incertidumbre que la subcategoría o sector aportan a la incertidumbre total en la tendencia de las emisiones nacionales totales. Con base en ambos resultados se obtiene lo siguiente:

En la categoría de energía [1], dentro de la subcategoría de emisiones fugitivas [1B], se tienen dos sectores como aquellos con mayor incertidumbre para el año 2002: las emisiones fugitivas en la producción del gas natural y las emisiones fugitivas en el venteo y combustión en quemadores. Por su parte, las emisiones fugitivas en el venteo y combustión en quemadores también introducen un valor significativo en la incertidumbre de la tendencia de las emisiones totales derivado a su incertidumbre de sus datos de actividad.

En la categoría de agricultura [4], únicamente la subcategoría de fermentación entérica [4A] es la que presentó un valor alto de incertidumbre en 2002, así como en la incertidumbre introducida en la tendencia de las emisiones totales generada principalmente por la incertidumbre de los datos de actividad.

En la categoría de USCUS [5], la subcategoría por cambios en el carbono de suelos minerales [5B] es la que presentó el valor más alto de incertidumbre en el 2002, así como en la incertidumbre introducida en la tendencia de las emisiones totales generada principalmente por la incertidumbre del factor de emisión.

En la categoría de desechos [6], las subcategorías de residuos sólidos municipales [6A] y aguas residuales industriales [6B1] aportan la mayor incertidumbre tanto a la incertidumbre combinada del total del inventario como a la introducida en la tendencia en las emisiones totales del inventario; en ambos casos, la incertidumbre de los factores de emisión son la causa de la magnitud introducida en la incertidumbre de la tendencia.

El análisis de incertidumbre indica las siguientes conclusiones:

- Se requiere trabajar más en la determinación de incertidumbre en aquellas subcategorías y sectores donde no fue posible estimar su valor en 2002. Las Guías de las Buenas Prácticas del PICC no brindan un valor por defecto de incertidumbre para estos sectores o subcategorías; tampoco existe un valor documentado a nivel nacional de la incertidumbre de los datos de actividad ni de los factores de emi-

sión nacionales empleados en las estimaciones del INEGEI 1990 - 2002 y finalmente en la literatura científica no se localizaron valores de incertidumbre para factores de emisión que pudieran ser empleados en el país.

- Para las subcategorías y sectores para los cuales sí fue posible estimar un valor de incertidumbre en el 2002, también se requiere estimar factores de emisión nacionales con el fin de disminuir la incertidumbre asociada a los factores utilizados por defecto de las Directrices del PICC, como es el caso de residuos sólidos municipales y aguas residuales industriales; de igual manera, es necesario contar con datos de actividad obtenidos mediante mediciones directas en los casos en que esto sea posible

(procesos industriales, consumo de combustibles en manufactura e industria de la construcción); documentar estadísticas asociadas a los datos de actividad de tal forma que reflejen de manera más completa la situación del sector (fermentación entérica, autotransporte); cuando existan, obtener datos de actividad con mayor nivel de desagregación, ya sea por tecnología, región, o alguna otra característica deseable (emisiones fugitivas en venteo y combustión en quemadores, consumo de SF₆ en generación, transmisión y distribución de energía eléctrica), todo esto con el fin de disminuir la incertidumbre introducida al total de las emisiones del inventario.

2. Tendencias de las emisiones de gases de efecto invernadero

2.1. Tendencias en las emisiones totales de gases de efecto invernadero en CO₂ equivalente

Las emisiones de gases de efecto invernadero para el 2002 fueron de 553 millones de toneladas en CO₂ equivalente y registran un incremento del 30% comparada con las emisiones de 1990. Las principales, como se puede ver en la figura 2.1, son el CO₂ y el CH₄, las cuales tienen un incremento de 28 y 34% respectivamente entre 1990 y 2002.

El CO₂ constituye en promedio el 72% de las emisiones anuales, mientras que al CH₄ corresponde el 25%; el restante 3% lo integran el N₂O (2%) y los gases fluorados (1%).

Entre 1990 y 2002, las emisiones totales en CO₂ equivalente crecieron a una tasa constante de 2.2% anual, con un incremento entre 1990 y 2000 de un 2.8% por año y un decremento de 2000 al 2002 de un 1.8%.

En ese mismo período, el PIB del país creció en promedio 3.1% anual¹ mientras que la población nacional tuvo un incremento de 1.8% anual.

2.1.1. Emisiones de CO₂ equivalente por habitante

Las emisiones per cápita promedio para el país son de 5.4 toneladas de CO₂ equivalente por habitante, con un crecimiento medio anual de 0.4% entre 1990 y 2002.

¹ Tasa promedio anual de crecimiento del PIB: estimación propia calculada como promedio simple de acuerdo a los datos de crecimiento anual de la economía publicados por el Banco de México para el período 1990-2002. Fuente: <http://www.banxico.org.mx/SieInternet/>

FIGURA 2.1 EMISIONES EN MT DE CO₂ EQUIVALENTE POR TIPO DE GAS DE 1990 AL 2002

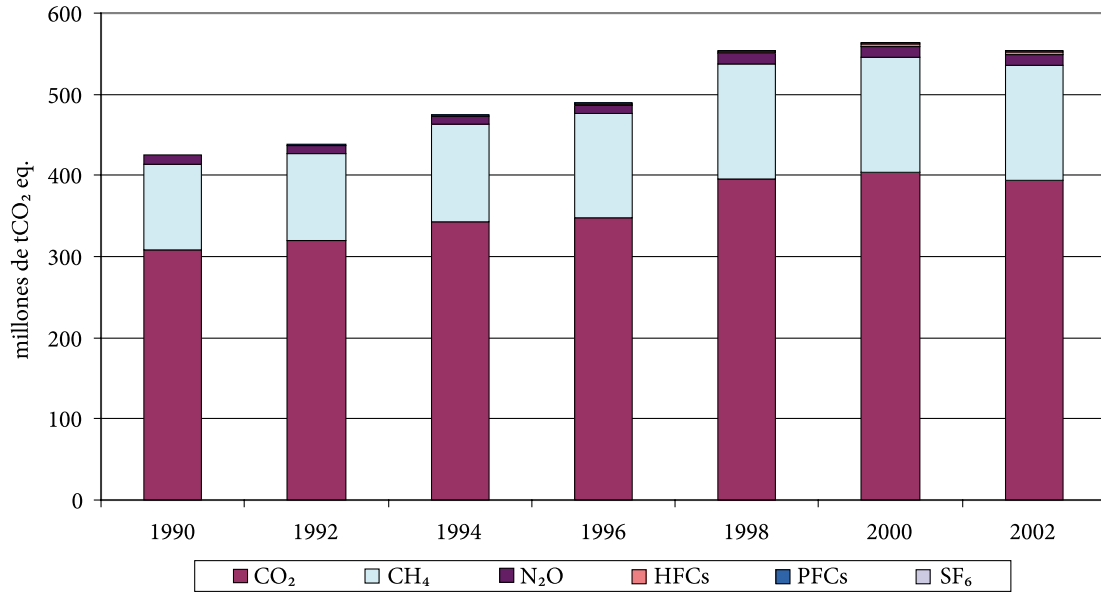


FIGURA 2.2 ÍNDICE DE EMISIONES, PIB Y POBLACIÓN PARA PERÍODO 1990 A 2002

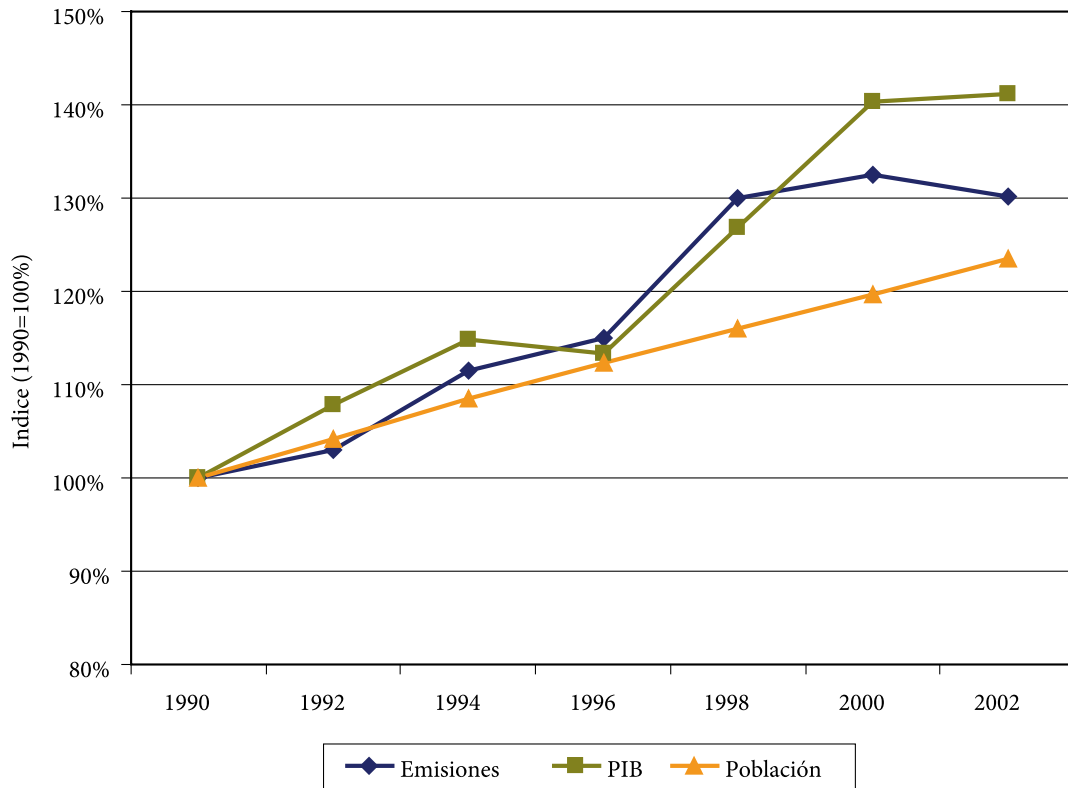
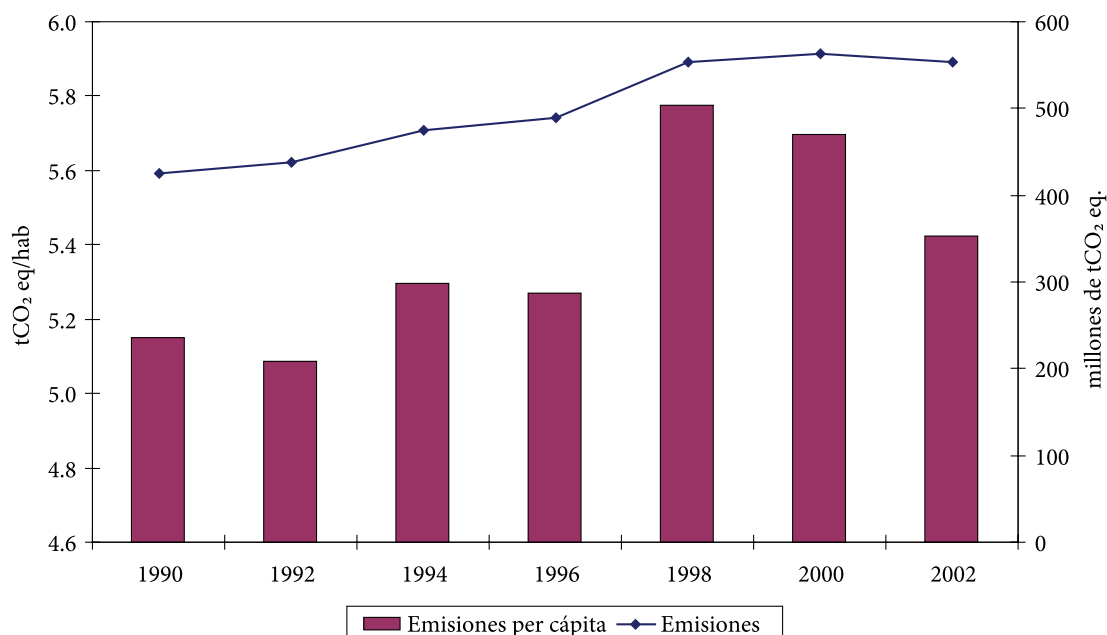


FIGURA 2.3 EMISIONES DE CO₂ EQUIVALENTE POR HABITANTE



Sin embargo, su comportamiento no siempre es a la alza, ya que las emisiones por habitante tienen un aumento medio anual del 1.4% entre 1990 y 1998, para posteriormente decrecer 0.7% entre 1998 y 2000 y 2.4% entre 2000 y 2002, lo que indica que, a pesar del crecimiento poblacional a una tasa de 1.8% anual, las emisiones tuvieron un crecimiento más lento entre 1998 y 2002, lo que puede reflejar una desvinculación entre el crecimiento poblacional y las emisiones de gases de efecto invernadero.

2.1.2. Emisiones de CO₂ equivalente por Producto Interno Bruto (PIB)

Las emisiones de CO₂ equivalente por unidad de PIB en el 2002 fueron de 0.34 kg por Peso de PIB, lo cual representa un decremento de 8% con respecto al dato de 1990. Como se observa en el periodo de 1998 al 2002 el descenso se puede atribuir al incremento del PIB en esos años y a la desaceleración en el crecimiento de las emisiones, debido principalmente al cambio de combustible empleados en la generación de energía eléctrica.

2.2. Tendencias de las emisiones totales de gases de efecto invernadero por tipo de gas

2.2.1. Emisiones de CO₂

Las emisiones de CO₂ en el 2002 fueron de 393,532 Gg, lo que representa un incremento de 28% con respecto a 1990. Las emisiones de CO₂ en el país provienen principalmente de dos categorías de emisión: energía y procesos industriales.

Los sectores con mayor contribución en la emisión de CO₂ en el 2002 son la industria generadora de energía (1A1), con 39% del total y con un incremento del 46% con respecto a 1990, y el sector transporte (1A3), que contribuye con 28% del total y que registró un incremento del 28% con respecto a 1990. En menor medida, otras actividades como el consumo de combustibles fósiles en los sectores de manufactura e industria de la construcción (1A2) y otros (residencial, comercial y agrícola) (1A4), así como la producción de minerales (2A) y metales (2C), contribuyen en conjunto con 32% de las emisiones totales de CO₂. El restante

FIGURA 2.4 EMISIONES DE CO₂ EQUIVALENTE POR PRODUCTO INTERNO BRUTO

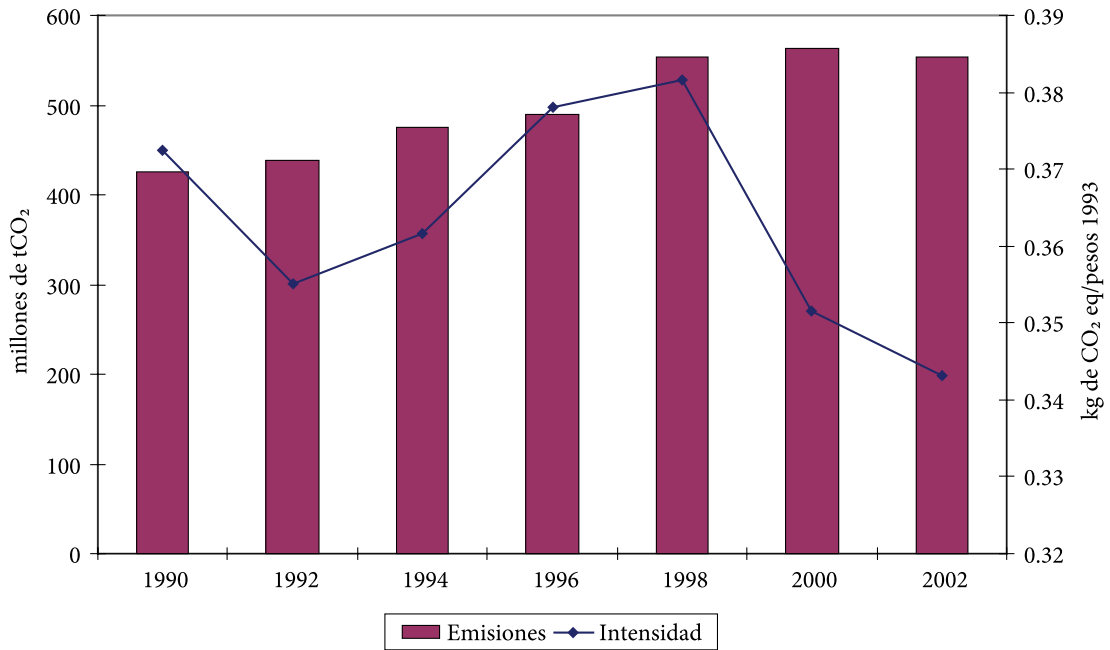
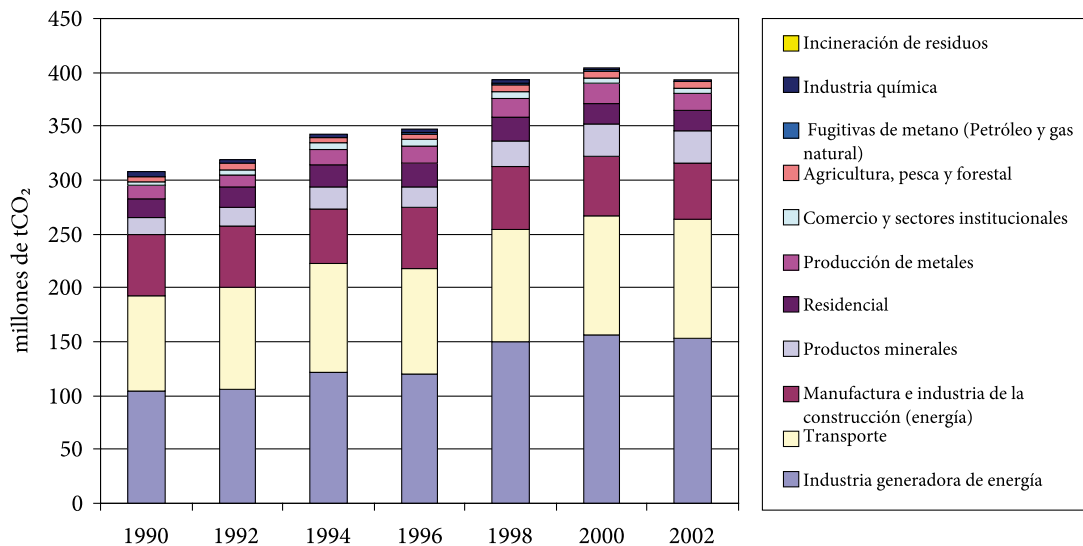


FIGURA 2.5 EMISIONES EN MILLONES DE tCO₂ POR SECTOR



1% lo conforma las emisiones fugitivas de metano por petróleo y gas (1B2), la industria química (2B) y la incineración de residuos (6C).

Como es de esperarse, el consumo de combustibles fósiles (1A) de la categoría energía, es el principal generador de CO₂ en el país con 88% del total.

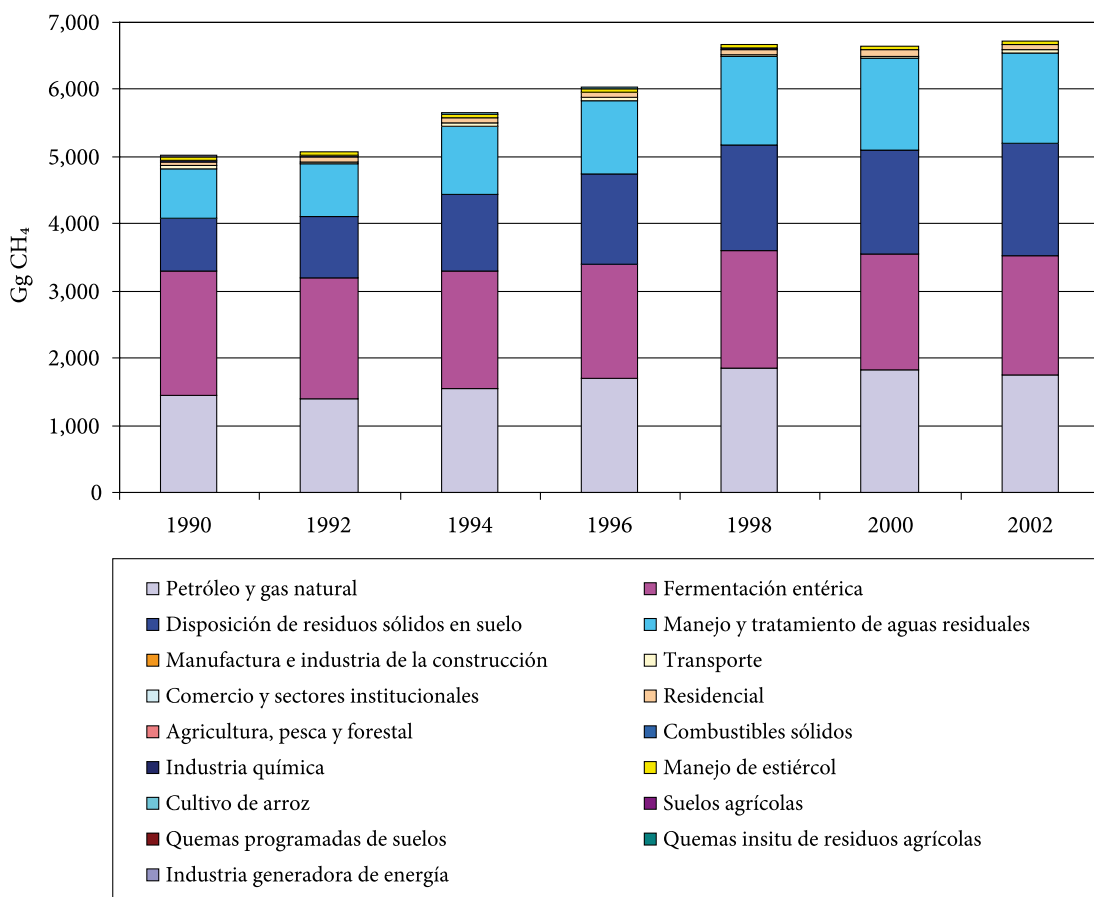
2.2.2. Emisiones de metano

En 2002 las emisiones de CH₄ fueron de 6,803 Gg, lo que representa un incremento de 34% con respecto a 1990. Las principales fuentes de emisión corresponden a las subcategorías de emisiones fugitivas por petróleo y gas natural, en la categoría Energía, y la fermentación entérica, en la categoría Agricultura, con una contri-

bución de 26% cada una. Le siguen las emisiones por la disposición de residuos en rellenos sanitarios con 24% y las emisiones de aguas residuales con 20%. Por su parte, el cultivo de arroz de la categoría Agricultura muestra un decremento de 60% con respecto a 1990, originado por una disminución en la producción nacional y una mayor importación de granos básicos.

Las emisiones por disposición de residuos sólidos y las provenientes del manejo y tratamiento de aguas residuales tuvieron fuertes incrementos entre 1990 y 2002, con un 115% y 85% respectivamente. Este aumento es originado por el impulso dado en nuestro país hacia un mejor manejo de los residuos sólidos, en particular la disposición en rellenos sanitarios y al tratamiento de aguas residuales.

FIGURA 2.6 EMISIONES EN Gg DE CH₄ DE 1990 AL 2002



2.2.3. Emisiones de óxido nitroso

En el 2002 las emisiones por el N_2O fueron de 38.815 Gg lo que representa un incremento del 16% con respecto a 1990. La principal contribución proviene de los suelos Agrícolas, en la categoría agricultura, que representa el 62% de las emisiones en 2002. Le siguen el manejo y tratamiento de aguas residuales con 16% y el transporte con 14%.

Las emisiones por la incineración de residuos, a pesar de que representan sólo el 0.04% de las emisiones de N_2O , crecieron 29 veces con respecto a 1990 derivadas del impulso al sector en años recientes.

2.2.4. Emisiones de hidrofluorocarbonos HFCs

Las emisiones de HFCs provienen de los equipos de refrigeración y aire acondicionado y en 2002 fueron de 4,425 Gg en CO_2 eq., lo que representa un incre-

mento de 109 veces respecto a 1992. Dicho incremento es un reflejo de un mayor uso de HFCs en refrigeradores y aires acondicionados de industrias, viviendas y automóviles; esta familia de gases viene a sustituir a algunos de los CFCs controlados por el Protocolo de Montreal y cuyo uso está restringido en el mundo. El principal gas que se consumió fue el HFC-134a el cual representa el 92% de las emisiones en el 2002.

2.2.5. Emisiones de perfluorocarbonos

Las emisiones de este gas provienen de la producción de aluminio de la categoría Procesos Industriales. Las emisiones en el 2002 fueron de 405 Gg en CO_2 equivalente, lo cual representa un decremento del 42% con respecto a 1990, debido principalmente a la disminución en la producción de aluminio en el país. La principal emisión son los perfluorometanos los cuales representan en promedio el 88% de las emisiones.

FIGURA 2.7 EMISIONES EN GG DE N_2O DE 1990 AL 2002

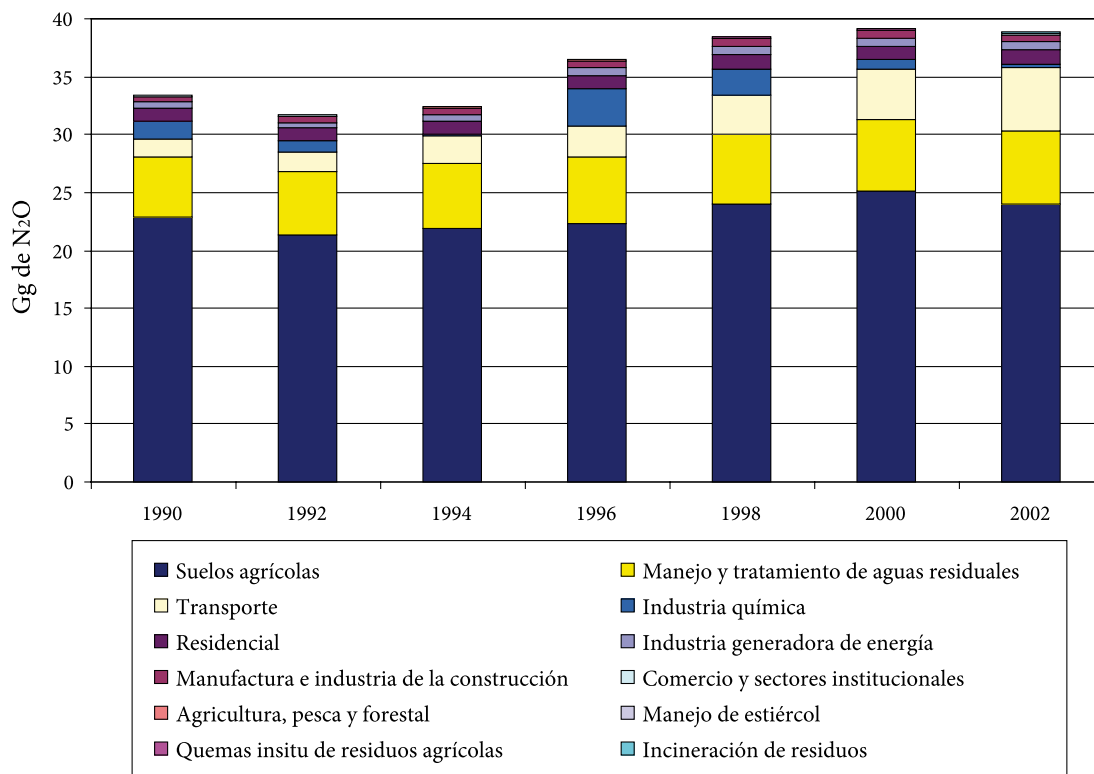


FIGURA 2.8 EMISIONES DE LOS HFCs EN EQUIVALENTES DE CO₂ DE 1990 AL 2002

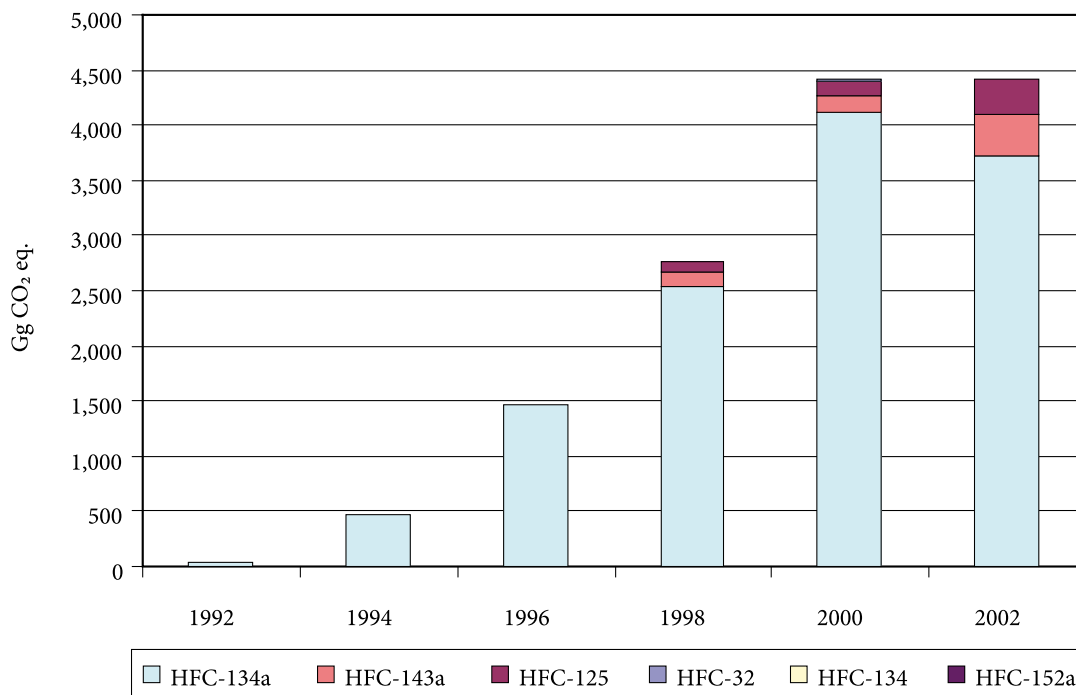
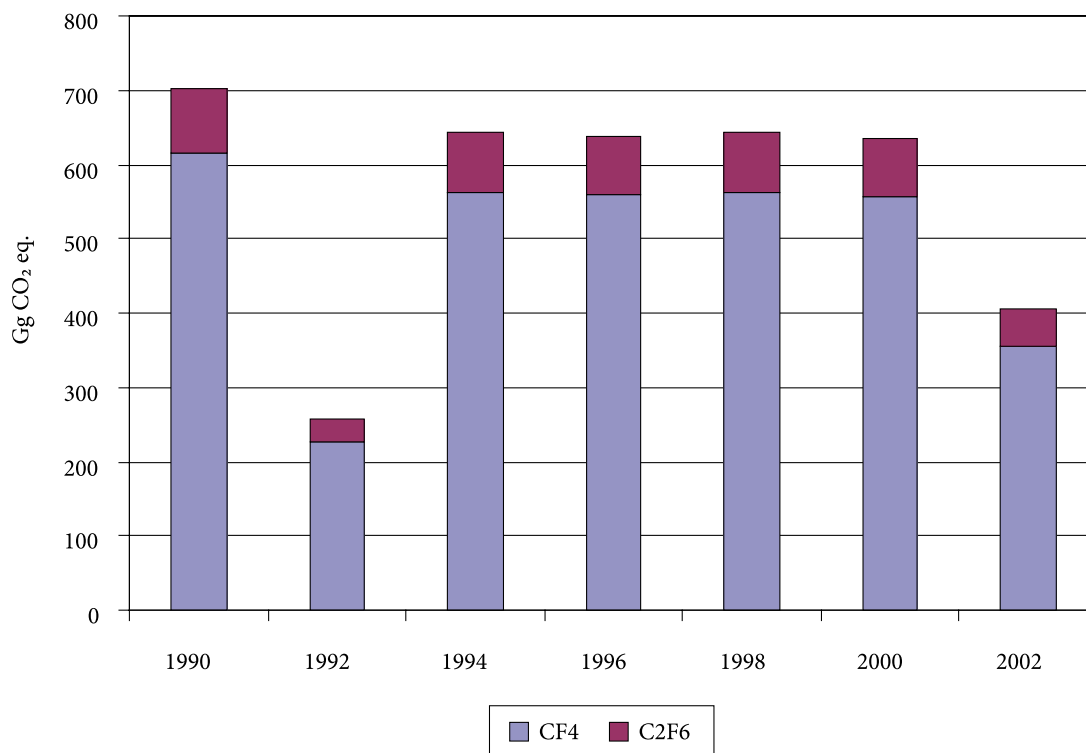


FIGURA 2.9 EMISIONES DE LOS PFCs EN EQUIVALENTES DE CO₂ DE 1990 AL 2002



2.2.6. Emisiones de hexafluoruros de azufre

Las emisiones de los SF₆ para el periodo 1990-2002 se estimaron con base en el inventario de equipos eléctricos del sistema de distribución de energía eléctrica de la CFE. Las emisiones en el 2002 fueron de 15 Gg en CO₂ equivalente, lo que representa un incremento de 5 veces con respecto a las emisiones de 1990. Estas cifras se basan en supuestos de emisiones potenciales que un equipo puede liberar año con año a lo largo de su vida útil.

Los datos obtenidos para la estimación de las emisiones de SF₆ únicamente muestran las adquisiciones de equipo eléctrico por parte de la CFE para el período 1990-2002, pero no dan cuenta del equipo que haya sido adquirido en años anteriores a 1990, ni detallan las unidades que se retiran del sistema cada año. Adicionalmente, los datos corresponden al equipo adquirido para el sistema de distribución eléctrica, pero no incluyen los casi 3,700 equipos adquiridos para el sistema de transmisión, u otros equipos del sistema de generación de electricidad, ya que no se tiene el desglose anual para el período contemplado. Las estimaciones no consideran la posible destrucción del gas, las

fugas en el equipo o su reutilización en otros equipos, dado que esos datos se desconocen.

2.3. Tendencias de las emisiones para los gases de efecto invernadero indirecto

La CMNUCC alienta a las Partes no incluidas en el Anexo I a informar sobre las emisiones antropogénicas de las emisiones de gases indirectos de efecto invernadero los cuales son el monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NOx), compuestos orgánicos volátiles diferentes al metano (COVDM) y bióxido de azufre (SO₂).

Dado que los gases de efecto invernadero indirecto no poseen equivalencia en términos de CO₂, se reportan en unidades de Gg emitidas para cada gas. Por este motivo, no es posible compararlas con las emisiones de GEI.

Como se muestra en la tabla 2.1 y en la figura 2.11, el CO y el SO₂ presentan una disminución entre 1990 y 2002, de 21% y 3%, respectivamente. Por su parte los NOx aumentaron un 14% y los COVDM un 8%.

FIGURA 2.10 EMISIONES DE LOS SF₆ EN EQUIVALENTES DE CO₂ DE 1990 AL 2002

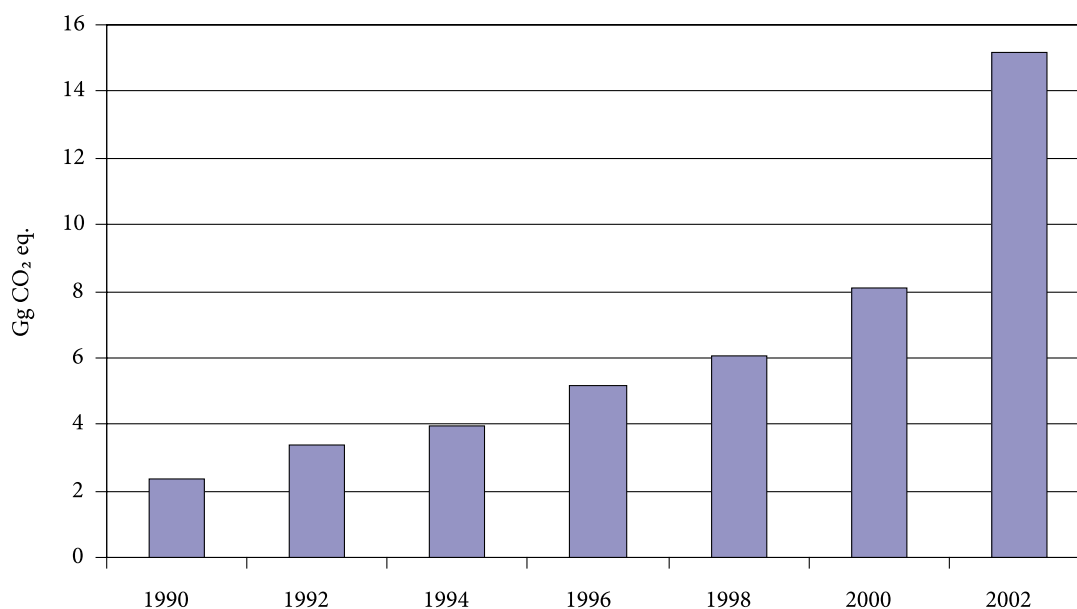
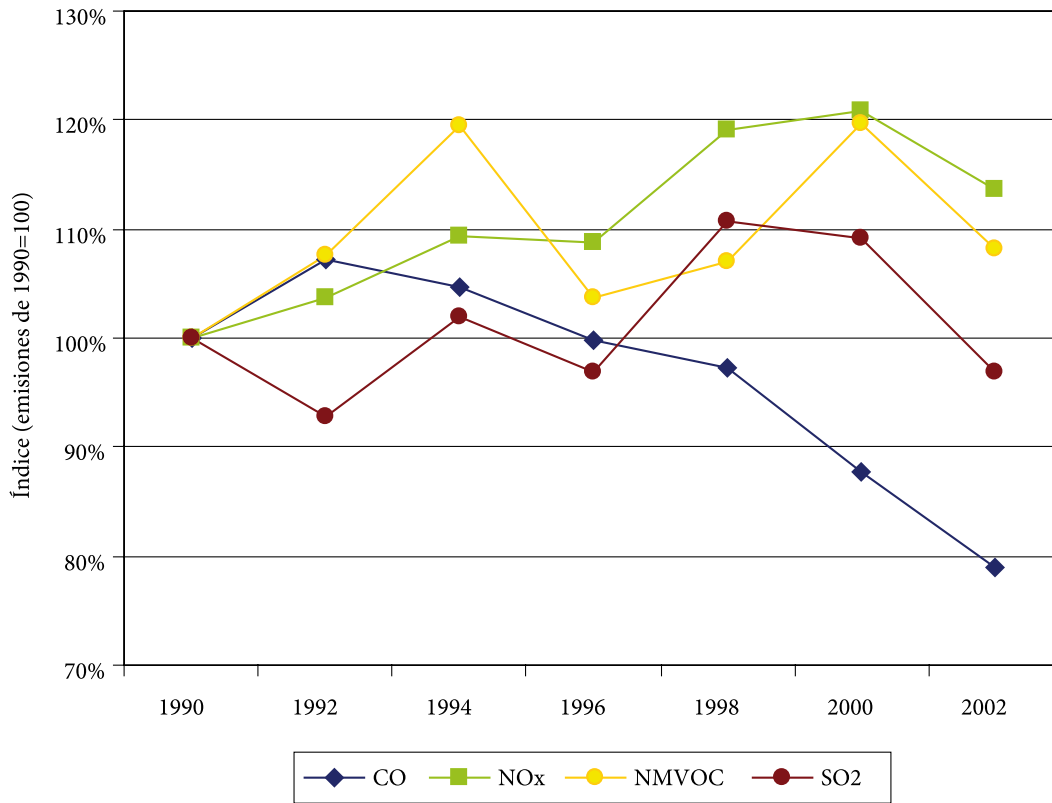


TABLA 2.1 EMISIONES EN GG DE GASES DE EFECTO INVERNADERO INDIRECTO

GAS DE EFECTO INVERNADERO INDIRECTO	1990	1992	1994	1996	1998	2000	2002
CO	8,740.224	9,368.557	9,156.133	8,723.409	8,493.662	7,664.473	6,902.226
NOx	1,241.916	1,288.236	1,357.233	1,350.133	1,480.079	1,501.188	1,412.405
COVDM	1,461.709	1,574.162	1,747.699	1,516.207	1,564.972	1,748.744	1,579.915
SO ₂	2,697.432	2,501.492	2,750.202	2,612.574	2,985.017	2,945.017	2,612.912

FIGURA 2.11 EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO INDIRECTO PARA EL PERÍODO 1990 A 2002



2.4. Comparativo internacional de las emisiones de gases de efecto invernadero de México

Una forma de revisar la confiabilidad del inventario de emisiones de gases de efecto invernadero es mediante un proceso de verificación. Las Guías de las Buenas

Prácticas del PICC describen cinco técnicas como opciones de verificación de un inventario nacional de emisiones de gases de efecto invernadero:

1. Revisiones de control de calidad
2. Comparaciones con otros inventarios
3. Comparaciones entre indicadores de intensidad

4. Comparaciones con datos de concentraciones atmosféricas o mediciones de fuentes de emisión
5. Estudios de modelación

La aplicación de cualquiera de estas técnicas puede realizarse a nivel nacional o internacional, considerando la disponibilidad de datos, resultados y experiencia técnica en el país. De acuerdo a ello, las comparaciones pueden darse de la siguiente manera:

- Comparación con datos de emisiones nacionales preparados de manera independiente por otra organización o reportadas en la literatura científica nacional.
- Comparación de las emisiones nacionales con las emisiones de otros países reportadas en alguna publicación de dicho país.
- Comparación con mediciones atmosféricas locales, regionales o globales
- Comparación con publicaciones científicas internacionales

Con el fin de mejorar la confiabilidad del inventario y de mostrar la ubicación de México con respecto a otros países del mundo, se realizaron comparaciones del INEGEI 1990 - 2002 con datos de emisiones de CO₂ por quema de combustibles fósiles estimados por la Agencia Internacional de Energía (IEA, por sus siglas en inglés). En las comparaciones se incluyeron indicadores de intensidad así como el valor del Índice de Desarrollo Humano para los países seleccionados. En la comparación se incluyeron datos de 124 países para los cuales la IEA estima las emisiones con base en los balances nacionales de energía. En el proceso de comparación, se identificó para cada país si es parte Anexo I ó No Anexo I de la CMNUCC y se revisó si pertenece a la Organización para el Desarrollo Económico (OCDE), organismo del cual México forma parte. Igualmente se señalaron los países de Latinoamérica y el Caribe y aquellos países que integran el Grupo de los 8 (G8).

Las emisiones globales de CO₂ generadas por la quema de combustibles fósiles fueron de 24,221.63 millones de toneladas en el año 2003, según lo estima la IEA; esta cifra no incluye las emisiones prove-

nientes de la aviación y la navegación internacionales (*bunkers* internacionales).

La tabla 2.2 muestra un listado de 55 países que en conjunto emiten el 95% de las emisiones mundiales de CO₂ generadas por la quema de combustibles fósiles. Entre ese listado se encuentran 25 países Anexo I (AI) y 28 países No-Anexo I (NAI) de la CMNUCC; en ese mismo listado también se encuentran 23 países de los 30 que integran a la OCDE, la totalidad de los países del Grupo de los 8 (G8) así como los cinco países que participan como invitados en las reuniones del G8 (Brasil, China, India, México y Sudáfrica); solamente 6 países de los 55 enlistados son de la región de Latinoamérica y el Caribe (LAC).

De las emisiones globales de CO₂ de estos 55 países, el 56.7% son generadas por los países Anexo I, mientras que el 36.9% por países No-Anexo I. El restante 1.4% son generadas por otros países o regiones que por el momento no forman parte de la CMNUCC.

Los seis países de Latinoamérica y el Caribe mostrados en el listado generan únicamente el 4.2% de las emisiones globales de CO₂; estos países son Argentina, Brasil, Colombia, Chile, México y Venezuela.

Los 13 países que se reúnen bajo el marco del G8+5 emiten el 70.2% de las emisiones globales de CO₂ generadas por quema de combustibles fósiles. En particular, los G8 generan 46.4% y los cinco países invitados, el 23.8% de las emisiones globales de CO₂.

Por su parte, los 23 países de la OCDE incluidos en el listado generan en conjunto el 51.9% de las emisiones globales de CO₂.

De acuerdo a las cifras reportadas por la IEA para el 2003, México ocupa el lugar 12 a nivel mundial en las emisiones de CO₂ por quema de combustibles fósiles, con un total de 374.25 millones de toneladas de CO₂ ó el 1.5% de las emisiones globales. En general, las estimaciones realizadas por la IEA para México varían aproximadamente en un 5% con respecto a las estimaciones realizadas en nuestro país con las Directrices del PICC y reportadas en el INEGEI 2002.

La figura 2.12 muestra una comparación de las emisiones per cápita de CO₂ y el PIB per capita de un grupo de 37 de los 55 países mostrados en la tabla anterior. Los 37 países de la figura representan el 86%

TABLA 2.2 PAÍSES QUE REPRESENTAN EL 95% DE LAS EMISIONES GLOBALES DE CO₂ GENERADAS EN LA QUEMA DE COMBUSTIBLES FÓSILES [1A], 2003

	País						Emisiones CO ₂	Contribución a	PIB (PPP)	Población	PIB per capita	Índice de Desarrollo
		AI	NAI	LAC	G8+5	OCDE	(quemados combustibles fósiles)	emisiones globales	(miles de millones 2000s)	(millones)	(2000s)	Humano (IDH) 2003
						(Mt de CO ₂)	(%)					
1	Estados Unidos					5728.53	23.650%	10,330.00	291.1	35,487.31	0.944	
2	China					3719.44	15.356%	6,089.51	1,288.4	4,726.41	0.755	
3	Rusia					1526.75	6.303%	1,250.62	143.4	8,719.38	0.795	
4	Japón					1201.37	4.960%	3,399.28	127.6	26,635.95	0.943	
5	India					1049.72	4.334%	2,907.78	1,064.4	2,731.85	0.602	
6	Alemania					854.29	3.527%	2,085.37	82.5	25,271.09	0.930	
7	Canadá					553.29	2.284%	923.61	31.6	29,200.44	0.949	
8	Reino Unido					540.25	2.230%	1,599.95	59.4	26,944.26	0.939	
9	Italia					453.36	1.872%	1,478.66	58.1	25,450.26	0.934	
10	Corea del Sur					448.37	1.851%	879.97	47.9	18,359.48	0.901	
11	Francia					389.55	1.608%	1,610.89	61.5	26,176.31	0.938	
12	México					374.25	1.545%	914.92	102.7	8,907.80	0.814	
13	República Islámica de Irán					348.94	1.441%	438.71	66.4	6,608.07	0.736	
14	Australia					347.13	1.433%	566.18	20.0	28,294.85	0.955	
15	Indonesia					318.08	1.313%	681.63	214.7	3,175.25	0.697	
16	Sudáfrica					317.97	1.313%	447.91	45.8	9,773.29	0.658	
17	España					313.24	1.293%	886.19	40.8	21,715.02	0.928	
18	Arabia Saudita					306.46	1.265%	281.49	22.5	12,494.01	0.772	
19	Brasil					302.85	1.250%	1,299.66	176.6	7,359.34	0.792	
20	Ucrania					296.79	1.225%	250.85	48.4	5,187.14	0.766	
21	Polonia					293.25	1.211%	423.03	38.2	11,074.08	0.858	
22	Taipei (China)					245.21	1.012%	458.53	22.6	20,279.96	NE	
23	Turquía					202.87	0.838%	485.73	70.8	6,860.59	0.750	
24	Tailandia					188.39	0.778%	444.94	62.0	7,175.29	0.778	
25	Holanda					184.69	0.763%	439.95	16.2	27,123.92	0.943	
26	Kazajistán					152.18	0.628%	93.76	14.9	6,301.08	0.761	
27	Argentina					123.57	0.510%	420.53	36.8	11,436.77	0.863	
28	Malasia					122.80	0.507%	222.63	24.8	8,987.89	0.796	
29	Egipto					122.22	0.505%	252.09	67.6	3,731.35	0.659	
30	Uzbekistán					120.84	0.499%	42.17	25.6	1,647.91	0.694	
31	Venezuela					120.21	0.496%	119.29	25.7	4,647.06	0.772	
32	Bélgica					120.07	0.496%	276.92	10.4	26,703.95	0.945	
33	República Checa					116.98	0.483%	161.73	10.2	15,855.88	0.874	
34	Pakistán					103.45	0.427%	294.04	148.4	1,980.87	0.527	
35	Emiratos Arabes Unidos					96.11	0.397%	74.68	4.0	18,485.15	0.849	
36	Rumania					94.69	0.391%	149.48	21.7	6,875.80	0.792	
37	Grecia					94.10	0.388%	200.77	11.0	18,285.06	0.912	
38	Algeria					77.69	0.321%	183.64	31.8	5,769.40	0.722	
39	Austria					74.70	0.308%	236.32	8.1	29,175.31	0.936	
40	Finlandia					72.61	0.300%	140.20	5.2	26,909.79	0.941	
41	Filipinas					70.49	0.291%	332.71	81.5	4,082.33	0.758	
42	Irak					68.82	0.284%	22.12	24.7	895.55	NE	
43	República Democrática Popular de Corea (Corea del Norte)					68.78	0.284%	30.78	22.6	1,361.34	NE	
44	Israel					61.59	0.254%	126.57	6.7	18,919.28	0.915	
45	Vietnam					60.64	0.250%	191.30	81.3	2,352.72	0.704	
46	Portugal					58.93	0.243%	179.08	10.4	17,153.26	0.904	
47	Kuwait					58.35	0.241%	40.86	2.4	17,025.00	0.844	
48	Bielorusia					58.07	0.240%	56.50	9.9	5,718.62	0.786	
49	Hungría					57.73	0.238%	135.92	10.1	13,417.57	0.862	
50	Dinamarca					56.21	0.232%	156.75	5.4	29,081.63	0.941	
51	Colombia					56.05	0.231%	282.27	44.6	6,331.76	0.785	
52	Suecia					53.60	0.221%	249.71	9.0	27,869.42	0.949	
53	Chile					52.93	0.219%	153.10	15.8	9,708.31	0.854	
54	Nigeria					49.62	0.205%	135.32	136.5	991.65	0.453	
55	Serbia and Montenegro					49.47	0.204%	20.30	8.1	2,506.17	NE	

Fuentes de información:

Emisiones de CO₂: IEA, 2005. «Key World Energy Statistics».

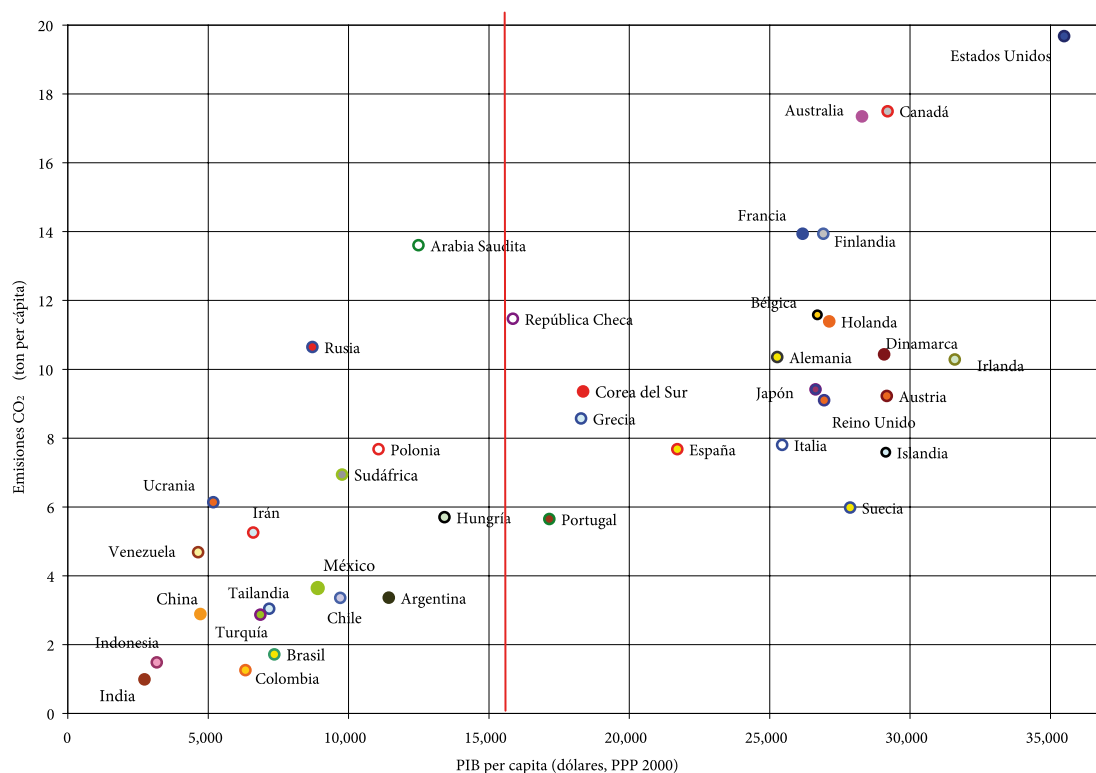
PIB: UNDP, 2005. «Human Development Indicators».

Población: UNDP, 2005. «Human Development Indicators»

Índice de Desarrollo Humano (IDH): UNDP, 2005. «Human Development Indicators»

*Notaciones.- (NE) No Estimado; (AI) Anexo I; (NAI) No Anexo I; (LAC) Latinoamérica y el Caribe; (G8+5) Países del G8 más Brasil, China, India, México y Sudáfrica; (OCDE) Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico.

FIGURA 2.12 COMPARACIÓN INTERNACIONAL DE EMISIONES CO₂ PER CAPITA VS. PIB PER CÁPITA, 2003



del PIB mundial y el 88% de las emisiones de CO₂ por quema de combustibles fósiles. En la figura se puede apreciar que aquellos países que gozan de un mayor nivel de ingreso per cápita son aquellos que igualmente emiten una mayor cantidad de CO₂ por habitante por la quema de combustibles fósiles. Diversos factores como el tipo de combustibles fósiles consumidos, el tipo y condiciones de la tecnología empleada, el tamaño de la población o las variaciones del clima a lo largo del año afectan el nivel de emisiones de cada país.

Como se muestra en la gráfica, un mayor nivel de ingreso generalmente se asocia a un mayor consumo de combustibles fósiles. A medida que la población puede satisfacer sus necesidades básicas (vivienda, alimentación, salud) y busca satisfacer necesidades se-

cundarias, tiende a un mayor consumo de energía (que puede ser mediante quema de combustibles fósiles). Como lo indican estudios realizados por Goldemberg² y Krugman, el consumo de energía igualmente guarda relación con el nivel de bienestar de la población de un país. El autor concluye que el consumo de 1 tonelada de petróleo equivalente por persona por año es el punto de quiebre entre lograr un mayor o menor nivel de bienestar (Goldemberg, 2001). Así, un mayor nivel de ingreso está asociado a un consumo de combustibles comerciales mientras que en las sociedades con menores niveles de ingreso se consumen combustibles tradicionales. Por consecuencia, las emisiones de CO₂ asociadas a la quema de combustibles fósiles difieren entre ambos tipos de países por la combinación en el tipo de combustibles utilizados.

²Goldemberg, J. (2001). "Energy and human well-being". Disponible en <http://hdr.undp.org/publications/papers.cfm>

Krugman, H., Goldemberg, J. (1983). "The energy cost of satisfying basic human needs". Technological Forecasting and Social Change. Vol 24, Issue 1, pág. 45-60.

El ingreso per capita, sin embargo, no es el único indicador para comparar el nivel de desarrollo y por tanto de emisiones, de los países. Una comparación relevante es la incorporación del Índice de Desarrollo Humano (IDH), generado anualmente por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). El IDH mide los logros alcanzados por un país en cuanto a tres dimensiones básicas del desarrollo: 1) salud y esperanza de vida; 2) educación de la población; y 3) el ingreso per capita.

Como se muestra en las figuras 2.13 a 2.15, un mayor nivel de desarrollo humano está asociado a un mayor nivel de emisiones per capita. En aquellos países donde existe una mayor dependencia de combustibles tradicionales (como la biomasa) el nivel de desarrollo humano es menor y al mismo tiempo, el nivel de emisiones; por el otro lado, en los países donde de manera preponderante existe un consumo de combustibles comerciales se emiten mayores emisiones de CO₂ y existe un nivel de desarrollo humano más alto.

En los últimos cinco años, México se presenta como un país que recién se integra a un nivel de desarrollo humano alto; sin embargo, el nivel de ingreso y de emisiones per capita guarda más parecido con países cuyo nivel de desarrollo humano es medio, como se puede apreciar en las figuras 2.12 a 2.15. De acuerdo a los datos del Índice de Desarrollo Humano 2005 y a las estimaciones de la IEA, México se ubica en el lugar 53 del mundo en términos de desarrollo humano, en el lugar 51 en ingreso per capita y en el puesto 67 en emisiones de CO₂ per capita por quema de combustibles fósiles.

Los esfuerzos del país hacia una mejora en la intensidad energética y el cambio en el uso de combustibles, han logrado disminuir la intensidad de emisiones de los gases de efecto invernadero. Como se muestra en la figura 2.2, aunque la economía ha crecido a una tasa promedio de 3.1% anual entre 1990 y 2002, las emisiones únicamente reportan un crecimiento de 2.2% y comienzan a mostrar indicios de un desacople de la actividad económica en el país.

FIGURA 2.13 COMPARACIÓN INTERNACIONAL DE EMISIONES CO₂ PER CAPITA VS. IDH

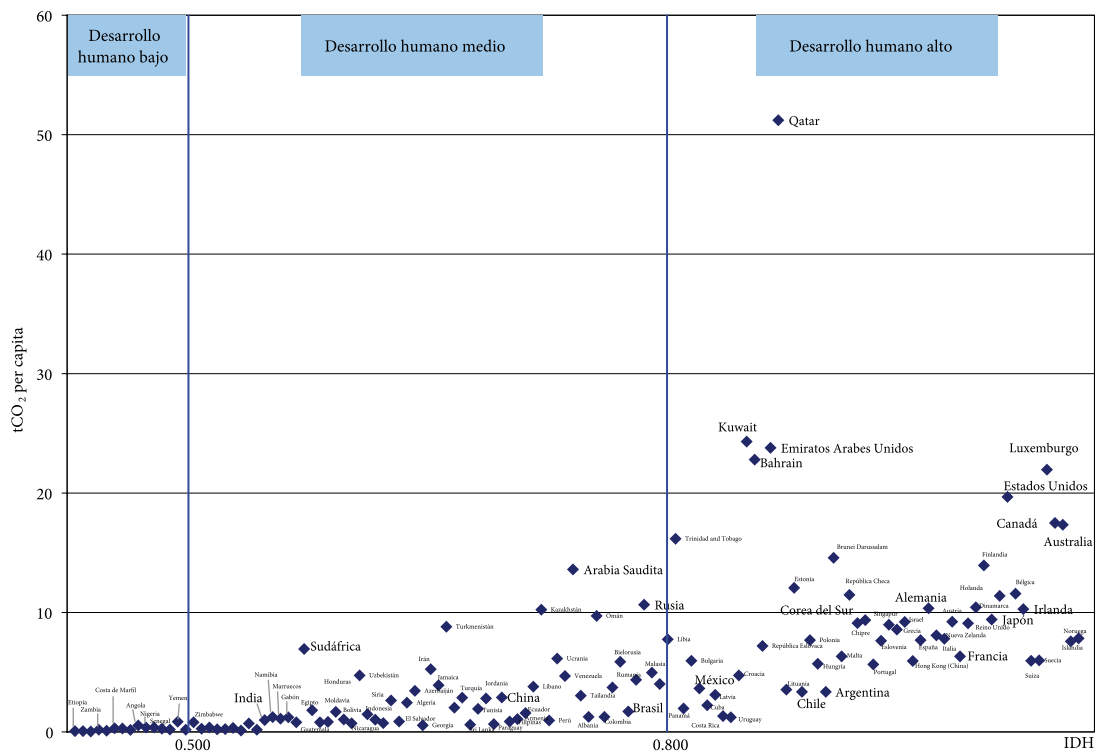
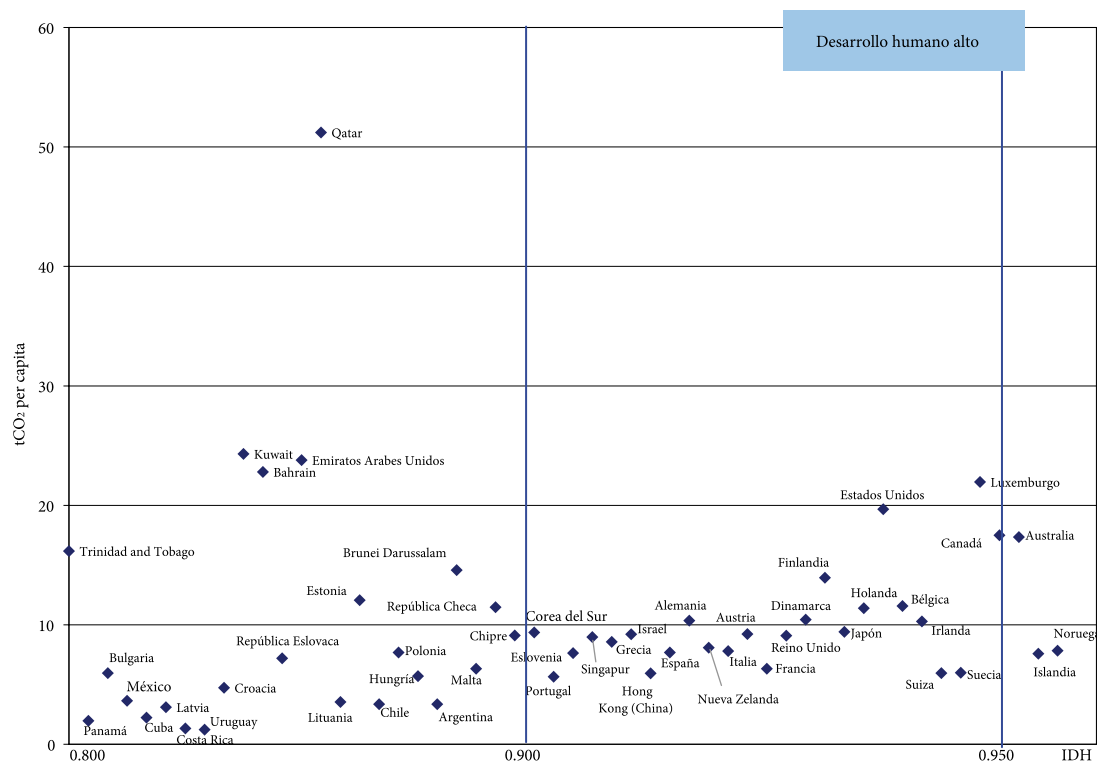


FIGURA 2.14 COMPARACIÓN INTERNACIONAL DE EMISIONES CO₂ PER CÁPITA VS. IDH ALTO



Fuentes de información:

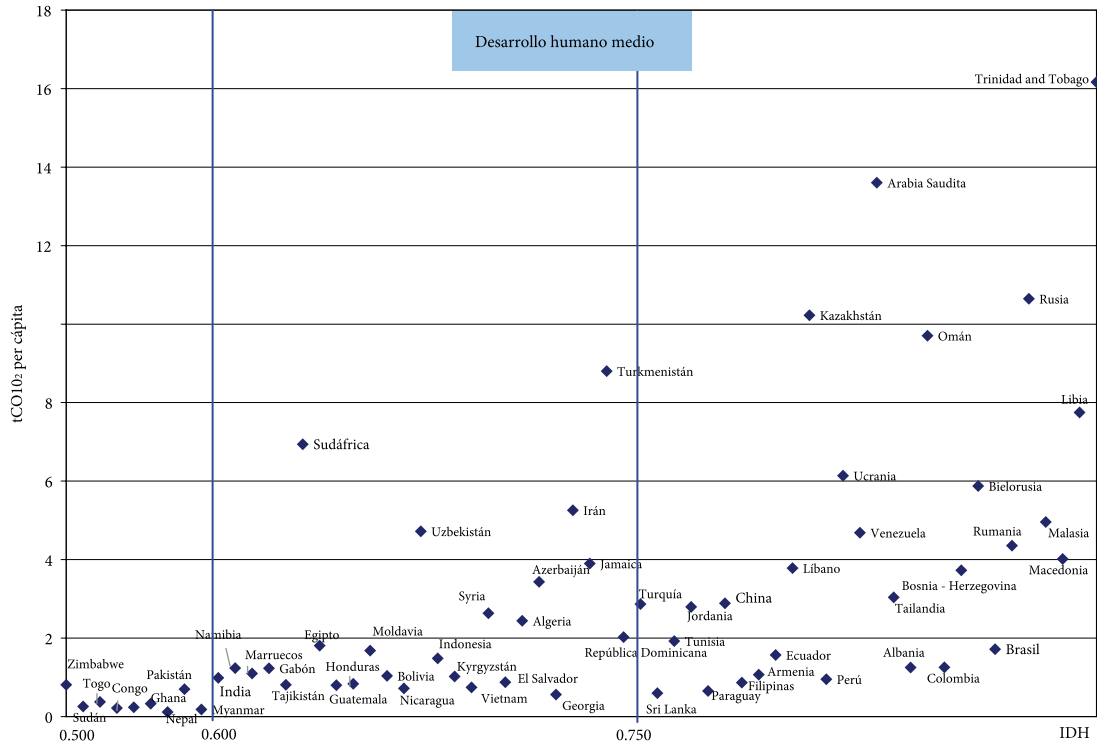
Emisiones de CO₂: IEA, 2005. «Key World Energy Statistics».

PIB: UNDP, 2005. «Human Development Indicators».

Población: UNDP, 2005. «Human Development Indicators»

Índice de Desarrollo Humano (IDH): UNDP, 2005. «Human Development Indicators»

FIGURA 2.15 COMPARACIÓN INTERNACIONAL DE EMISIONES CO₂ PER CÁPITA VS. IDH MEDIO



Fuentes de información:

Emisiones de CO₂: IEA, 2005. «Key World Energy Statistics».

PIB: UNDP, 2005. «Human Development Indicators».

Población: UNDP, 2005. «Human Development Indicators»

Índice de Desarrollo Humano (IDH): UNDP, 2005. «Human Development Indicators»

3. Energía [1]

Tomando en consideración las recomendaciones del PICC descritas en la sección referente a las Instrucciones de Reporte, donde se menciona la clasificación que debe seguirse para cada categoría de fuentes incluidas en el inventario nacional de gases de efecto invernadero. La clasificación que corresponde a la Categoría Energía se muestra en la Tabla 3.1.

La información que contiene este documento esta integrada siguiendo esta clasificación.

Uno de los propósitos de este documento es indicar que en la actualización 2002 del inventario de emisiones de la Categoría Energía, hubo necesidad de volver a calcular los valores de emisiones de años anteriores, debido a cambios en la metodología y la utilización de factores de emisión más adecuados en el sector transporte y en las fuentes fijas de combustión fue la selección de los factores de emisión para las tecnologías más representativas para México en lo que fuentes de combustión se refiere. Razón por la cual las nuevas cifras difieren de las reportadas en el inventario 1994 - 1998.

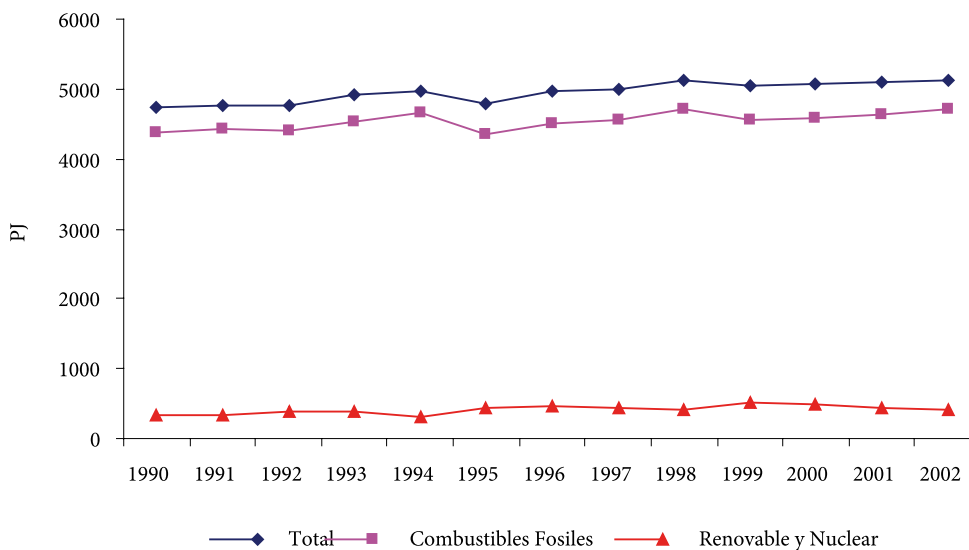
TABLA 3.1 CATEGORÍAS DEFINIDAS POR EL PICC

CLAVE PICC	CATEGORÍA Y SUBCATEGORÍAS DE FUENTE
1	Energía
1A	Fuentes Fijas de Combustión
1A1	Industrias de la Energía
1A2	Industrias de Manufactura y Construcción
1A3	Fuentes Móviles de Combustión
1A3a	Transporte Automotor
1A3b	Transporte Aéreo
1A3c	Transporte Ferroviario
1A3d	Transporte Marítimo
1A4	Otros Sectores
1A4a	Sector Comercial
1A4b	Sector Residencial
1A4c	Sector Agropecuario
1B	Emisiones Fugitivas
1B1	Minado de Carbón
1B2	Petróleo y Gas Natural

En el periodo 1990 – 2002, la energía que se consumió en México se obtuvo principalmente por la quema de combustibles fósiles como el carbón, el petróleo y el gas natural (ver figura 3.1). Los combustibles fósiles produjeron casi 92% de la energía consumida en México en 2002. El petróleo contri-

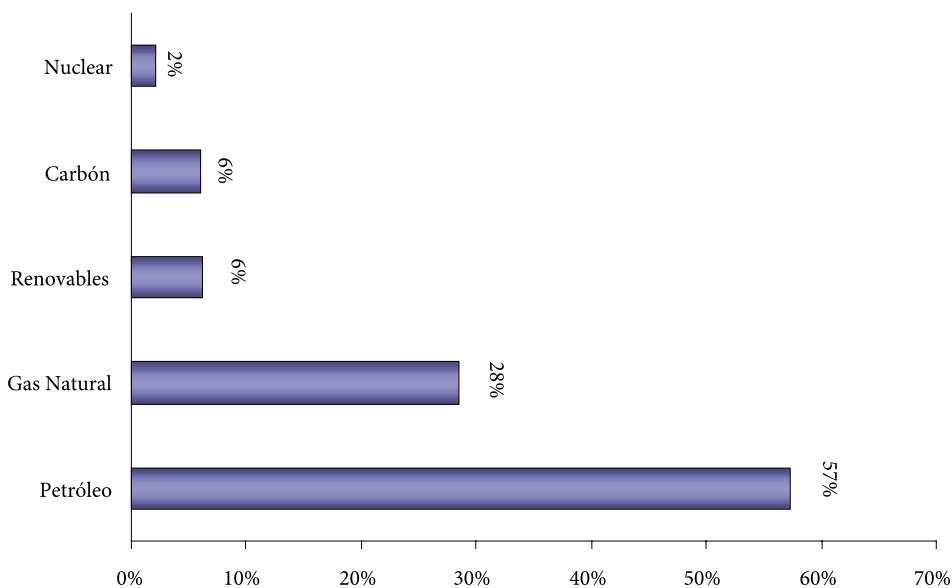
buyó con 57%, el gas natural con 29% y el carbón con 6% (ver figura 3.2). De la porción restante, (el 8%) aproximadamente 2.0% lo suministró la central núcleo-eléctrica y 6.0% las fuentes renovables (Hidroeléctricas, Geotermia, y Eólica) (Cuadro 42 del BNE 2000 y 2003).

FIGURA 3.1 CONSUMO DE ENERGÍA EN MÉXICO EN EL PERIODO 1990 - 2002



Fuente: Datos del cuadro 42 del Balance Nacional de Energía 2000 y 2003

FIGURA 3.2 CONSUMO DE ENERGÍA EN EL 2002 POR FUENTE DE ENERGÍA



Fuente: Datos del cuadro 42 del Balance Nacional de Energía 2003.

Las emisiones de gases de efecto invernadero que se contabilizan en la Categoría de Energía incluyen las emisiones de dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O) expresadas en unidades de CO₂ equivalente. Estas emisiones provienen en su vasta mayoría de la quema de combustibles fósiles en fuentes fijas de combustión y en fuentes móviles de combustión (ver figura 3.3). Adicionalmente a estas emisiones hay emisiones de otros gases denominados precursores del ozono, como son el monóxido de carbono (CO), los óxidos de nitrógeno (NO_x), compuestos orgánicos volátiles diferentes al metano (COVDM), y dióxido de azufre (SO₂).

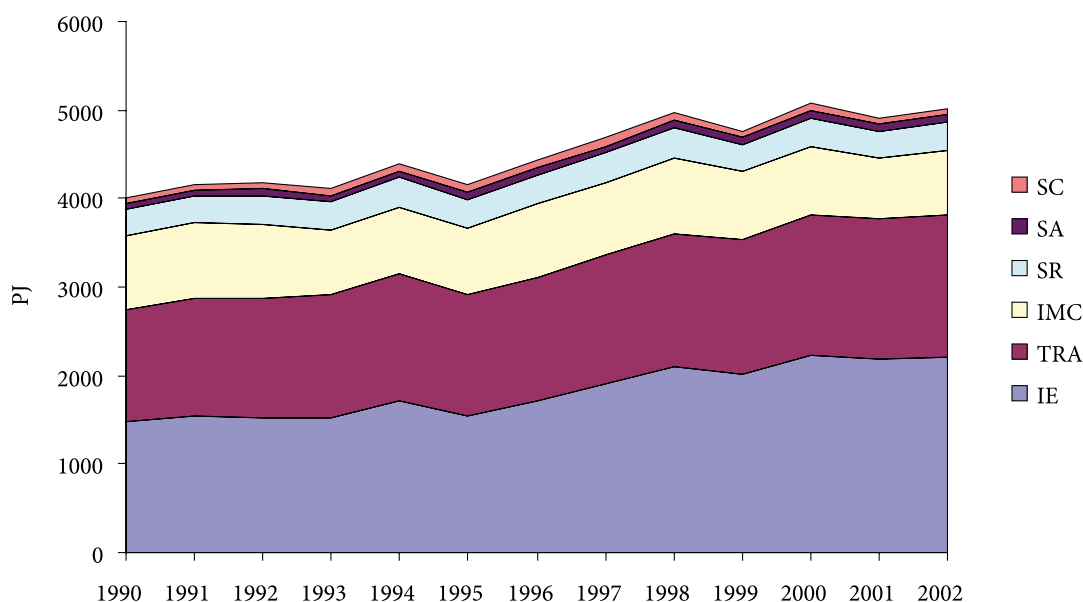
El petróleo bajo la forma de los distintos combustibles derivados de él, se consume mayormente en las industrias energéticas y en el sector transporte. Los sectores residencial, comercial y agropecuario y las industrias de manufactura y construcción consumen el resto de los combustibles derivados del petróleo. En relación al carbón este se consume casi exclusivamente en las centrales eléctricas para la producción de electricidad. El gas natural por su parte se consume

principalmente en las industrias energéticas y en los sectores de uso final Industrial y Residencial (BNE, 2003), las emisiones de CO₂ derivadas del consumo de combustibles en la Categoría de Energía para el año 2002 se muestran en la figura 3.4.

Otras actividades que también están relacionadas con la energía se refieren a la producción, transmisión, almacenamiento y distribución de combustibles fósiles. Estas actividades también emiten gases de efecto invernadero, principalmente metano (CH₄) el cual se contabiliza como emisión fugitiva en el minado y manipulación del carbón y en las actividades de petróleo y gas natural. Cantidades más pequeñas de CO₂, CO, COVDM, y NO_x, también se emiten en las actividades de petróleo y gas natural.

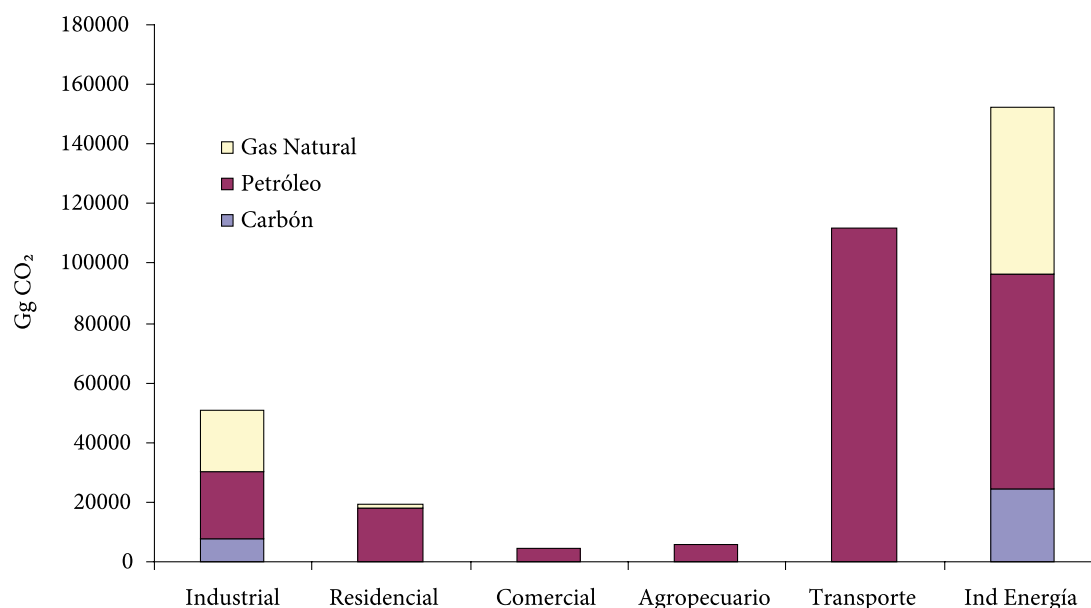
Por otra parte, durante el periodo 1990 - 2002, el producto interno bruto (PIB) registró un crecimiento moderado hasta 1994, en donde se presentó la crisis económica de 1994 - 1995 causando que el PIB registrara una caída profunda de -6.2% y un repunte inflacionario de 52%. La aplicación en los últimos años de un estricto control fiscal y monetario y el fortale-

FIGURA 3.3 EVOLUCIÓN DEL CONSUMO DE COMBUSTIBLES EN LA CATEGORÍA DE ENERGÍA EN EL PERIODO 1990-2002



Nota: (TRA) se refiere al sector transporte, (SA) al sector agropecuario, (SC) al sector comercial, (SR) al sector residencial, (IE) a las industrias de la energía y (IMC) a las industrias de manufactura y construcción respectivamente.

FIGURA 3.4 EMISIONES DE CO₂ POR QUEMA DE COMBUSTIBLES EN LA CATEGORÍA DE ENERGÍA



cimiento del sistema financiero permitieron superar la crisis. En 1999 el PIB creció a una tasa anual media de 3.7%, mientras que en el 2000 el crecimiento fue de 6.57%, sin embargo en el 2002 solamente hubo un crecimiento marginal de 0.7% (ver figura 3.5).

Este comportamiento del PIB tiene su impacto en el consumo de energéticos y en las emisiones asociadas a ese consumo. La combustión de la biomasa y de los combustibles basados en la biomasa también emite gases de efecto invernadero, sin embargo las emisiones de CO₂ provenientes de esta actividad no se incluyen en la Categoría de Energía debido a que los combustibles basados en la biomasa son de origen biogénico por lo que son tratadas en el sector correspondiente, no así las emisiones de los otros gases de efecto invernadero (CH₄ y N₂O) las cuales se incluyen en los totales nacionales bajo la combustión en fuentes fijas, tal y como lo señala la Orientación de las Buenas Prácticas del PICC en el Capítulo 2, sección 2.2 “Emisiones de Gases Distintos del CO₂ Procedentes de Fuentes Fijas de Combustión”.

Uno de los componentes importantes en el Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero (INE-GEI) es la Categoría de Energía, el cual contabiliza y

reporta todas las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) generadas por el consumo de combustibles fósiles en las varias categorías de fuentes de emisión incluidas en esta categoría, bajo los rubros de las fuentes fijas de combustión y de las fuentes móviles de combustión. Una categoría de fuentes de emisión adicional son las emisiones fugitivas de metano derivadas de las actividades del minado y manipulación del carbón y en las actividades del petróleo y gas natural.

La revisión que se realizó a la actualización 2002 de la Categoría de Energía, la cual cubre el periodo 1990 – 2002, se basa en la verificación de los datos utilizados en los tres trabajos de actualizaciones sobre datos de actividad, factores de emisión, métodos y procedimientos de cálculo de las emisiones, así como de la estimación de la incertidumbre en los datos de actividad, factores de emisión y emisiones en sí. Adicionalmente se hará una comparación de resultados con otros países. Uno de los propósitos de este documento es indicar que en la actualización 2002 del inventario de emisiones de la Categoría de Energía, hubo necesidad de recalculer los valores de emisiones de años anteriores, debido a cambios en la metodología y la utilización de algunos factores de emisión diferentes

FIGURA 3.5 COMPORTAMIENTO DEL PIB DURANTE EL PERIODO 1990 – 2002



Fuente: Sistema de Cuentas Nacionales de México. INEGI. Se refiere al PIB a precios de mercado de 1993.

a los indicados en el Manual de Referencia del PICC, estos fueron adoptados después de las varias reuniones con expertos del Banco Mundial, la Secretaría de Energía y del Instituto de Ingeniería de la UNAM, sobre las tecnologías de combustión más representativas para México. Razón por la cual las nuevas cifras difieren de las reportadas en el inventario 1998.

La estructura del documento está diseñada para cubrir los aspectos metodológicos relacionados con los datos de emisión, datos de actividad, selección de métodos y procedimientos de cálculo de las emisiones de cada categoría de fuentes de emisión en la Categoría de Energía. La sección 1, cubre lo relativo a las fuentes fijas de combustión (Clave PICC 1A; 1A1, 1A2, 1A4). La sección 2, cubre lo relativo a las fuentes móviles de combustión (Clave PICC 1A3). La sección 3, trata las emisiones fugitivas de metano (Clave PICC 1B1, 1B2). La sección 4, trata de las incertidumbres asociadas a las emisiones de gases de efecto invernadero de la Categoría de Energía. La sección 5, cubre la comparación de los datos de las emisiones obtenidas en el inventa-

rio de gases de efecto invernadero de la Categoría de Energía, con datos de otros países. La sección 6, trata de las conclusiones y recomendaciones. La sección 7, contiene la bibliografía. Finalmente se incluyen varios Anexos que describen en detalle las metodologías utilizadas para la estimación de las emisiones.

3.1. Comparación del método de referencia con el método sectorial

Las emisiones de CO₂ por consumo de combustibles [1A] de la categoría de Energía estimadas con los métodos de Referencia y Sectorial difieren en promedio 6% entre ambos métodos en cada uno de los años comprendidos entre 1990 y 2003. Lo anterior puede atribuirse al hecho de que el dato de consumo de energía usado en el método sectorial resulta ser inferior al dato utilizado en el método de referencia.

El método de referencia usa datos sobre consumo de combustibles primarios, y no considera las pérdidas por conversión de combustibles primarios a secunda-

TABLA 3.2 COMPARACIÓN DE LAS EMISIONES DE CO₂ ESTIMADAS POR LOS DOS MÉTODOS, EL DE REFERENCIA Y EL SECTORIAL (Gg)

AÑO	MÉTODO SECTORIAL	MÉTODO DE REFERENCIA	DIFERENCIA	DIFERENCIA (%)
1990	276164	291486	15322	5.3%
1991	285488	302910	17422	5.8%
1992	287173	304390	17217	5.7%
1993	283835	303268	19433	6.4%
1994	304807	329679	24872	7.5%
1995	287499	312717	25218	8.1%
1996	306988	334093	27105	8.1%
1997	323860	346504	22644	6.5%
1998	347221	360342	13121	3.6%
1999	333039	350045	17006	4.9%
2000	352048	371370	19322	5.2%
2001	347372	371577	24205	6.5%
2002	345365	362397	17032	4.7%

rios. El método sectorial, por su parte emplea datos de combustibles secundarios. Dado la diferencia entre las estimaciones entre ambos métodos no es determinante, se considera que las estimaciones se realizaron correctamente (ver tabla 3.2).

3.2. Comparación de las emisiones de gases de efecto invernadero calculadas en este inventario con datos de otros países

En esta sección se presentan gráficamente los datos de emisiones de CO₂ de México y otros países. En la figura 3.6, se muestra el perfil de las emisiones de CO₂ producidas exclusivamente por el consumo de combustibles en el periodo 1990 - 2002, en ocho países incluyendo a México. Las emisiones medias del periodo 1990-2002 para México fueron 334 millones de toneladas métricas de CO₂, cifra que corresponde a las emisiones de CO₂ registradas en 1996.

En la figura 3.7 presentamos las emisiones reportadas por la Administración de la Información de la Energía y las emisiones de nuestro estudio para México. La diferencia que se registra en todos los años entre el método de referencia y el método sectorial es en promedio del 6%, y entre los datos del método de

referencia y los reportados por la EIA es en promedio del 2%. Esta información confirma que nuestros resultados están en buena concordancia con las cifras internacionales de la EIA.

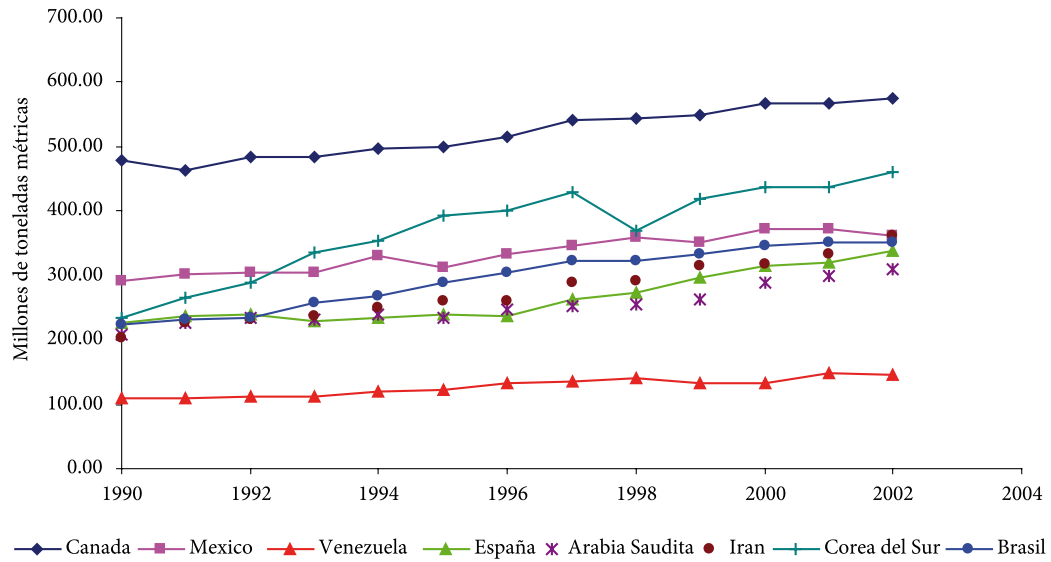
3.3. Fuentes Fijas de Combustión [1A]

Las fuentes fijas de combustión cubren las emisiones de gases de efecto invernadero y de otros gases precursores del ozono que se producen en las Industrias Energéticas (IE), las Industrias de Manufactura y Construcción (IMC), el Sector Residencial (SR), el Sector Comercial/Institucional (SC), y el Sector Agropecuario (SA).

La parte del consumo total de combustibles que le correspondió a las fuentes fijas de combustión en el año base (1990) fue de 2,747.918 PJ y para el año actual del inventario (2002) fue de 3,412.756 PJ lo que equivale a un incremento del 24%.

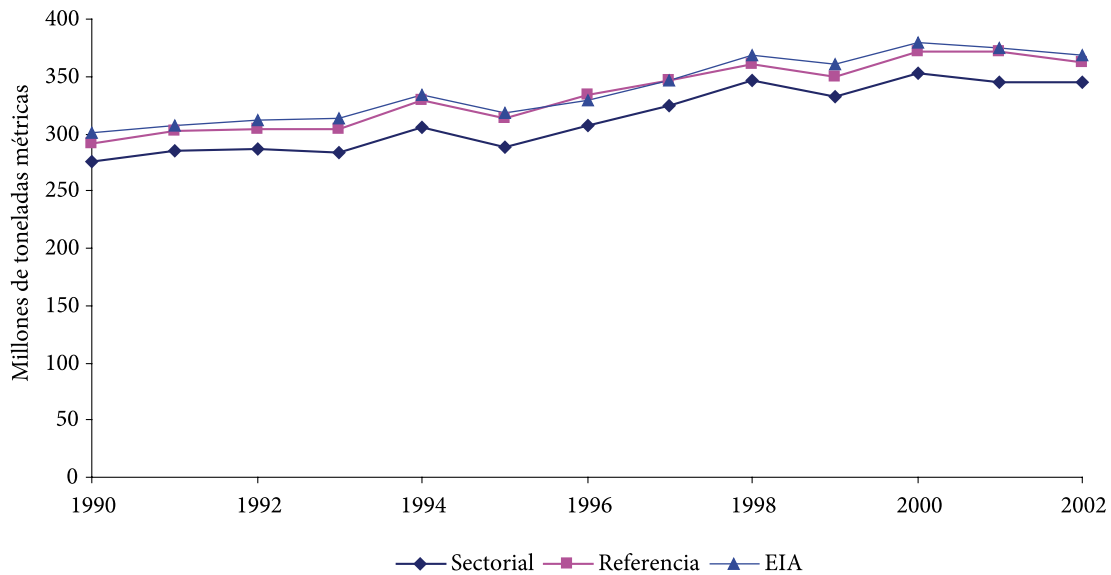
En las dos figuras siguientes (figura 3.8, y figura 3.9) se presentan los consumos de los combustibles utilizados por las industrias de la energía IE), las industrias de manufactura y construcción (IMC), el sector residencial (SR), el sector comercial (SC) y el sector agropecuario (SA), en el año base (1990) y el año actual del inventario 2002. En estos gráficos se observa una

FIGURA 3.6 EVOLUCIÓN DE LAS EMISIONES DE CO₂ POR QUEMA DE COMBUSTIBLES EN OCHO PAÍSES INCLUYENDO MÉXICO



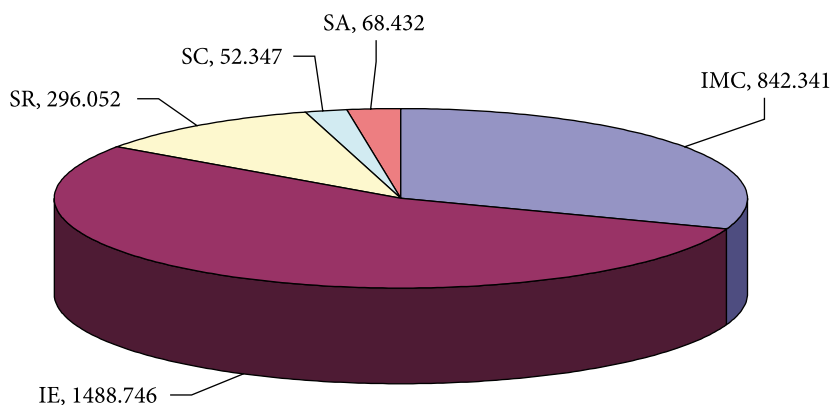
Fuente: Tabla h1CO₂, Energy Information Administration; International Energy Annual, 2003.

FIGURA 3.7 COMPARACIÓN DE LAS EMISIONES DE CO₂ REPORTADAS POR LA AIE Y LAS CALCULADAS POR EL INEGI



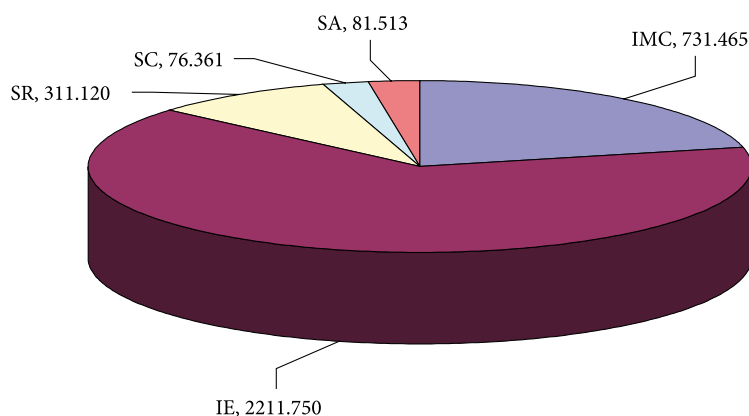
Fuente: Datos propios y de la AIE.

FIGURA 3.8 CONSUMO (PJ) DE COMBUSTIBLES POR LOS SECTORES DE LA ENERGÍA EN EL AÑO BASE 1990



Nota: (SA) al sector agropecuario, (SC) al sector comercial, (SR) al sector residencial, (IE) a las industrias de la energía, y (IMC) a las industrias de manufactura y construcción respectivamente.

FIGURA 3.9 CONSUMO (PJ) DE COMBUSTIBLES POR LOS SECTORES DE LA ENERGÍA EN EL 2002



Nota: (SA) al sector agropecuario, (SC) al sector comercial, (SR) al sector residencial, (IE) a las industrias de la energía, y (IMC) a las industrias de manufactura y construcción respectivamente.

reducción en el consumo de combustibles fósiles en las industrias de manufactura y construcción al pasar del 31% (842.341 PJ) con respecto al total (2749.918 PJ) de combustibles consumidos en 1990, al 21% (732.012 PJ) de un total de (3412.756 PJ) en el 2002, mientras que las industrias de la energía aumentaron su consumo al pasar de 54% (1488.746 PJ) con respecto al total de combustibles consumidos en 1990 a 66% (2211.750 PJ) en el 2002. Los consumos porcentuales en los tres

sectores restantes, residencial, comercial, agropecuario sufrieron cambios menores.

El consumo de biomasa de los sectores industrial (Bagazo de caña) y residencial (leña), se presenta en la tabla 3.3. El consumo de biomasa se incrementó un 10.4% durante el periodo 1990-2002.

En el año 2002, los principales combustibles consumidos por las fuentes fijas de combustión fueron el gas natural con 41% del total, el combustóleo con

TABLA 3.3 CONSUMO DE BIOMASA (BAGAZO DE CAÑA Y LEÑA) EN EL SECTOR INDUSTRIAL Y RESIDENCIAL PJ

AÑO	INDUSTRIAS DE MANUFACTURA Y CONSTRUCCIÓN	SECTOR RESIDENCIAL	TOTAL
1990	72.87	234.67	307.54
1991	84.19	236.48	320.67
1992	77.48	238.31	315.79
1993	88.01	240.16	328.17
1994	72.15	242.02	314.17
1995	84.03	243.85	327.88
1996	83.25	245.42	328.67
1997	91.37	247.00	338.37
1998	94.12	248.59	342.71
1999	86.58	250.19	336.78
2000	82.59	251.82	334.41
2001	87.25	253.44	340.69
2002	84.29	255.09	339.38

30%, el gas licuado de petróleo con 12% y el carbón con un 10%, el restante 7% lo integran diesel, gasolina, querosenos y coque de petróleo.

Las Industrias energéticas (incluyendo las centrales eléctricas) han incrementado su consumo de combustibles durante el periodo 1990 – 2002 en 49% al pasar de 1488.746 PJ a 2211.750 PJ. El principal combustible empleado en el 2002 fue el gas natural con 45%, seguido del combustóleo con un 40% y el carbón con 12%, el restante 3% lo componen el diesel, el gas licuado, la gasolina, los querosenos y los lubricantes.

El consumo de combustibles para producir electricidad, aumentó un 78.36% de 1990 a 2002 al pasar de 894.727 PJ a 1595.869 PJ. Los principales combustibles usados en 2002 fueron el combustóleo con un 49%, el gas natural con un 33% y el carbón con un 17%, el restante 1% corresponde al consumo de diesel.

El consumo total de energía sin incluir la biomasa en las industrias de manufactura y construcción ha tenido una disminución del 13% en el periodo 1990-2002, al pasar de 842.341 PJ a 732.012 PJ. El combustible más empleado en 2002 fue el gas natural con 50% del total, seguido del combustóleo con 21%, coque de

petróleo con un 7% y coque de carbón con 10%, el restante 12% esta integrado por gas licuado de petróleo, diesel, y queroseno.

El consumo de biomasa (bagazo de caña) en este sector se incrementó 16% en el mismo periodo, al pasar de 72.867 PJ a 84.293 PJ.

El consumo de energía en el sector residencial sin considerar la biomasa (leña) aumentó 5% en el periodo 1990-2002, al pasar de 296.052 PJ a 311.120 PJ. El gas licuado de petróleo contribuyó con 92% del consumo en este sector, el restante 8% lo integran el gas natural y los querosenos en el año 2002. El consumo de leña de este sector tuvo un aumento del 9% en el mismo periodo al pasar de 234.668 PJ a 255.087 PJ.

El consumo de energía en el sector comercial pasó de 52.347 PJ en 1990 a 76.361 PJ en 2002, lo que representa un aumento del 46%. El gas licuado de petróleo es el combustible más empleado por el sector en el 2002, con 86% del total, le sigue el gas natural con un 10% y finalmente el diesel con un 4%.

El consumo de energía en el sector agropecuario se refiere a la utilización de combustibles en fuentes móviles (vehículos), este aumentó de 68.432 PJ en 1990 a 86,351 PJ en 2002, lo que representa un incremento del 19%. El principal combustible consumido en el año 2002 fue el diesel con 89% del total, se sigue el gas licuado con 10%, el resto lo proporcionan los querosenos.

3.3.1. Industrias Energéticas [1A1]

3.3.1.1 Datos de Actividad

La fuente oficial de información sobre los consumos de combustibles fósiles en las industrias de la energía, es la Secretaría de Energía (SENER) a través de los Balances Nacionales de Energía (BNE). La ventaja de esta información es que los consumos están expresados en unidades de energía Peta joules (PJ) (1 PJ = 10^{15} joules). Además, debido a la frecuencia con que aparece su publicación, el BNE constituye una fuente de información confiable.

La energía fósil consumida por las industrias energéticas en el 2002 ascendió a 2,211.750 PJ, equivalente

a un 49% más que en el año base (1990). Los combustibles utilizados fueron el carbón, el diesel, el combustóleo, el gas natural, el gas licuado, el coque de carbón, las gasolinas y los querosenos. Adicionalmente se consumieron también lubricantes en las operaciones de sus equipos. En la Tabla 3.4 se indican los consumos de combustibles y lubricantes para el periodo 1990 – 2002.

En el periodo 1990 – 2002, el gas natural, el combustóleo, el diesel y el carbón fueron los que mayormente se consumieron, principalmente en la generación de electricidad (ver Tabla 3.5). El resto de los combustibles fueron consumidos internamente en los Centros de Transformación (Coquizadoras, Refinerías, Plantas de Gas y Despuntadoras, y las Centrales Eléctricas) para el mantenimiento de sus operaciones.

TABLA 3.4 EVOLUCIÓN DEL CONSUMO DE COMBUSTIBLES Y DE PRODUCTOS NO ENERGÉTICOS (LUBRICANTES) EN LAS INDUSTRIAS ENERGÉTICAS (PJ)

AÑO	CARBÓN	DIESEL	COMBUSTÓLEO	GAS NATURAL	GLP	COQUE DE CARBÓN	GASOLINA	QUEROSENO	LUBRICANTES	TOTAL
1990	76.045	57.347	792.218	444.407	25.822	1.523	70.819	16.880	3.685	1488.746
1991	78.469	80.468	766.362	461.297	28.960	2.971	92.830	17.429	8.271	1537.057
1992	81.387	69.553	757.464	479.740	31.108	0.824	66.507	27.556	0.825	1514.964
1993	103.301	24.348	760.046	503.659	31.883	0.915	49.766	37.929	11.772	1523.619
1994	128.262	54.322	898.596	535.970	30.474	0.974	24.801	34.969	2.416	1710.784
1995	140.122	47.200	793.727	495.281	28.139	1.096	24.405	17.254	0.000	1547.224
1996	170.540	48.584	816.276	596.896	27.211	1.029	23.933	17.926	5.343	1707.738
1997	171.547	53.620	908.997	737.030	17.971	1.096	7.511	10.019	6.229	1914.020
1998	176.112	68.455	989.586	779.114	16.325	1.125	47.433	11.202	5.051	2094.403
1999	178.690	40.760	987.148	752.877	9.172	1.016	48.069	0.046	0.000	2017.778
2000	183.055	47.703	1046.586	899.026	9.654	1.155	37.765	0.038	0.000	2224.982
2001	226.991	43.249	999.080	876.751	8.259	0.980	24.001	0.002	0.000	2179.313
2002	264.102	38.392	877.483	1002.515	5.564	0.745	22.912	0.037	0.000	2211.750

Fuente: Balance Nacional de Energía 1991- 2003, Cuadro 53a “balance nacional de energía”.

TABLA 3.5 EVOLUCIÓN DEL CONSUMO DE COMBUSTIBLES PARA LA GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD (PJ)

	CARBÓN	DIESEL	COMBUSTÓLEO	GAS NATURAL	TOTAL
1990	79.045	15.608	659.375	143.699	897.727
1991	78.469	17.195	665.752	168.877	930.293
1992	81.387	12.305	656.444	156.616	906.752
1993	103.301	11.727	665.613	153.367	934.008
1994	128.262	13.298	794.100	180.063	1115.723
1995	140.122	10.445	696.544	185.380	1032.491
1996	170.540	9.534	718.913	191.371	1090.358
1997	171.547	13.268	823.131	207.934	1215.880
1998	176.112	19.361	903.743	246.208	1345.424
1999	178.690	17.540	887.531	272.971	1356.732
2000	183.055	25.147	954.587	333.383	1496.172
2001	226.991	18.572	915.191	400.384	1561.138
2002	264.102	15.179	787.562	529.026	1595.869

Fuente: Balance Nacional de Energía 2000 y 2003, Cuadro 50 “Consumo de combustibles para generación de electricidad”

3.3.1.2. Factores de Emisión y Metodología

El cálculo de las emisiones de bióxido de carbono (CO₂) se realiza utilizando el método sectorial de nivel 1, el cual requiere del uso de los factores de emisión de carbono y de la fracción de carbono oxidado aplicables a cada combustible. Debido a que no se cuenta con valores nacionales o regionales se utilizaron los valores por defecto indicados en las tablas 1-1 columna (9) y 1-6, páginas 1.13 y 1.29 del Volumen 3 “Manual de Referencia” de las Directrices revisadas 1996 del PICC sobre la elaboración de los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero.

Los factores de emisión requeridos para una estimación de nivel 2 de las emisiones de CH₄, N₂O, CO, NO_x, COVDM, y el SO₂, se obtuvieron como a continuación se menciona.

No se dispone de mediciones directas de emisiones ni de factores de emisión específicos del país o regionales, pero sí de datos de consumo de combustible por tipo de tecnología. Además las tecnologías empleadas para cada combustible fueron las que se consideraron más representativas para México. Esto como resultado de una reunión celebrada por un grupo de expertos del Banco Mundial, la Secretaría de Energía y del Instituto de Ingeniería de la UNAM. Las tecnologías consideradas como las más adecuadas fueron las siguientes:

- Para el carbón bituminoso pulverizado, paredes de fuego.

- Para el combustóleo, quemadores normales.
- Para el gas natural, las calderas.

Los factores de emisión por defecto, expresados en unidades de kg/TJ de CH₄, N₂O, CO, NO_x, y COVDM para estos tres combustibles y tecnologías asociadas se tomaron de las tablas 1-8, 1-11, y 1-15, páginas 1.36, 1.42, y 1.53 del Manual de Referencia. De la tabla 1-15 del Manual de Referencia se tomaron los valores por defecto de nivel 2 de CH₄, N₂O, CO, y NO_x, para la combustión del carbón bituminoso, y para el combustóleo en quemadores normales, para el gas natural quemado en calderas se tomaron únicamente los valores por defecto de CH₄, CO, NO_x. De la tabla 1-11 del Manual de Referencia, se tomaron los valores por defecto de nivel 1 de COVDM para los tres combustibles y de la tabla 1-8 del Manual de Referencia solo se tomó el valor por defecto de nivel 1 de N₂O, para el gas natural. La Tabla 3.6, resume los valores de los factores de emisión que son utilizados para el cálculo de las emisiones de CO₂, CH₄, N₂O, CO, NO_x y COVDM por tipo de combustible utilizado en las industrias energéticas.

Sobre el factor de emisión de SO₂ para cada combustible, éste depende principalmente del contenido de azufre del combustible y del valor calorífico neto del mismo, los cuales tienden a variar en el tiempo. La Tabla 3.7, presenta los valores del factor de emisión de SO₂ en unidades de kg/TJ para cada combustible de 1990 a 2002, éstos se estimaron siguiendo las indicaciones y la expresión para calcular el factor de emisión de la sección 1.4.2.6, páginas 1.42 – 1.44 del Manual de Referencia.

TABLA 3.6 FACTORES DE EMISIÓN PARA LAS INDUSTRIAS ENERGÉTICAS, POR TIPO DE COMBUSTIBLE

COMBUSTIBLE	CO ₂	CO	CH ₄	NO _x	N ₂ O	COVDM
Carbón	tC/TJ		kg/TJ			
Bituminoso pulverizado, paredes de fuego	25.8	9	0.7	380	1.6	5
Combustóleo						
Quemador normal	20.2	15	0.9	200	0.3	5
Gas natural						
Calderas	15.3	18	0.1	250	0.1	5

Fuente: Tabla 1-1; 1-8, 1-11, y 1-15, del Manual de Referencia, páginas 1.13, 1.36, 1.42, y 1.53.

TABLA 3.7 FACTOR DE EMISIÓN DE SO₂ EN KG/TJ PARA CADA COMBUSTIBLE POR AÑO

AÑO	CARBÓN	COMBUSTÓLEO	DIESEL	GAS LICUADO	GAS NATURAL
1990	1099.082	1941.273	222.172	5.395	14.119
1991	1099.082	1932.139	222.864	5.519	14.048
1992	1099.082	1938.524	223.406	5.527	14.132
1993	1099.082	1938.524	223.406	5.527	14.132
1994	1044.114	1927.001	222.210	5.391	14.132
1995	1077.586	1918.001	222.172	5.396	15.034
1996	1053.630	1926.700	224.928	5.441	14.314
1997	1032.098	1925.796	224.614	5.646	14.652
1998	1061.289	1927.303	224.693	5.646	14.734
1999	1059.771	1927.303	224.693	6.043	15.437
2000	1045.151	1927.303	224.693	6.043	15.437
2001	1064.056	1927.303	231.481	6.043	15.215
2002	1030.662	1927.303	231.481	6.043	15.215

Fuente: Manual de Referencia del PICC, páginas 1.42 – 1.44.

La selección adecuada del método y nivel, para estimar las emisiones, se llevó a cabo utilizando el árbol de decisión correspondiente a esta categoría de fuentes de emisiones, tal y como lo indica la Orientación del PICC sobre las Buenas Prácticas y la Gestión de la Incertidumbre en los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero. El método seleccionado para estimar las emisiones de CO₂, fue el método de nivel 1 descrito en el Manual de Referencia y que es conocido como método sectorial, su descripción se hace en el anexo correspondiente a las fuentes fijas de combustión. Para los otros gases de efecto invernadero (CH₄ y N₂O) y precursores del ozono (CO, NO_x, COVDM), así como el SO₂, se utiliza el procedimiento convencional. Este procedimiento consiste básicamente en multiplicar el factor de actividad de cada combustible por el correspondiente factor de emisión, y sumar las emisiones de cada combustible para obtener las emisiones totales de cada gas considerado.

3.3.1.3 Emisiones

La Tabla 3.8, muestra las emisiones estimadas en conformidad con los métodos seleccionados mediante la aplicación de la herramienta “árbol de decisión”, así

como los datos de actividad y los factores de emisión reportados en las tablas anteriores 3.5, 3.6, y 3.7.

La Tabla 3.9, presenta la evolución de las emisiones de los gases de efecto invernadero expresadas en unidades de gigagramos de CO₂ equivalente, para las industrias de la energía. Estas emisiones fueron ponderadas con los valores correspondientes del potencial de calentamiento global (GWP, siglas en inglés) de cada gas de efecto invernadero.

3.3.2. Industrias de Manufactura y Construcción [1A2]

3.3.2.1. Datos de Actividad

Al igual que con las industrias energéticas, la fuente oficial de información sobre los consumos de combustibles fósiles en las Industrias de Manufactura y Construcción, es la Secretaría de Energía (SENER) a través de los Balances Nacionales de Energía.

La energía fósil consumida (sin considerar la biomasa) por las industrias de la manufactura y construcción en el 2002 fue de 732.012 PJ, un 13% menos que la cantidad consumida en el año base (1990) que fue de 842.341 PJ. Los combustibles utilizados fueron

TABLA 3.8 EMISIONES DE LAS INDUSTRIAS ENERGÉTICAS (Gg)

Año	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO	NOx	COVDM	SO ₂
1990	104707.02	0.97	0.46	23.14	333.19	7.43	1642.55
1991	107654.58	0.99	0.47	23.83	343.48	7.64	1595.28
1992	106023.51	0.96	0.47	23.66	341.61	7.57	1582.04
1993	106318.20	0.94	0.49	23.56	346.31	7.56	1601.46
1994	120900.99	1.08	0.57	26.46	391.73	8.54	1886.62
1995	109666.70	0.97	0.55	23.85	359.63	7.74	1772.94
1996	120131.70	1.02	0.61	26.30	401.21	8.51	1773.64
1997	133291.44	1.09	0.65	29.79	449.49	9.54	1952.00
1998	149358.16	1.22	0.70	32.61	488.73	10.45	2122.14
1999	144698.46	1.18	0.69	31.45	473.55	10.09	2113.68
2000	156840.02	1.25	0.73	34.97	523.11	11.12	2233.74
2001	155657.88	1.21	0.77	33.95	520.73	10.90	2191.12
2002	152469.36	1.14	0.81	34.59	540.15	11.06	1984.56

TABLA 3.9 EVOLUCIÓN DE LAS EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO PARA EL PERIODO 1990 – 2002 EN LAS INDUSTRIAS ENERGÉTICAS, EN UNIDADES DE Gg DE CO₂ EQUIVALENTE

Año	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	TOTAL
1990	104708.38	2198847.51	299.31	2303855.19
1991	107657.61	2260746.16	307.08	2368710.86
1992	106023.81	2226493.70	298.37	2332815.89
1993	106322.52	2232682.19	290.44	2339295.14
1994	120901.87	2538920.76	335.70	2660158.34
1995	109666.70	2303000.60	300.09	2412967.38
1996	120133.66	2522765.73	316.30	2643215.69
1997	133293.73	2799120.27	338.79	2932752.78
1998	146006.60	3136521.31	378.72	3282906.63
1999	141170.11	3038667.67	365.10	3180202.88
2000	154131.71	3293640.44	386.39	3448158.54
2001	151943.82	3268815.53	376.46	3421135.81
2002	152469.36	3201856.64	352.03	3354678.04

el carbón, el coque de carbón y de petróleo, el diesel, el combustóleo, el gas natural, el gas licuado y los querosenos. Adicionalmente se consumió también biomasa sólida (bagazo de caña) que en el 2002 ascendió a 84.293 PJ, 16% más que en el año base. En la Tabla 3.10 y 3.11, se indican los consumos de combustibles y de biomasa para el periodo 1990 – 2002.

En el periodo 1990 – 2002, el gas natural, el combustóleo, el diesel y el coque de carbón fueron los de

mayor consumo dentro del grupo de industrias que conforman la categoría de industrias de manufactura y construcción, (Tabla 3.11).

3.3.2.2. Factores de Emisión y Metodología

Las emisiones de CO₂, producto de la combustión de los combustibles utilizados en las industrias de manufactura y construcción se obtienen de la misma manera

TABLA 3.10 CONSUMO DE COMBUSTIBLES EN LAS INDUSTRIAS DE MANUFACTURA Y CONSTRUCCIÓN (PJ)

AÑO	CARBÓN	BAGAZO DE CAÑA	COQUE DE CARBÓN	COQUE DE PETRÓLEO	GAS LICUADO
1990	0.000	72.867	64.236	0.000	15.154
1991	0.000	84.192	55.629	0.000	16.029
1992	0.000	77.481	63.190	0.000	17.525
1993	0.000	88.012	63.810	0.000	17.922
1994	0.000	72.148	70.767	0.000	18.602
1995	0.000	84.032	80.472	0.000	17.085
1996	0.000	83.247	85.786	0.000	17.658
1997	0.000	91.372	91.862	0.000	17.554
1998	0.000	94.122	92.382	0.000	18.449
1999	0.000	86.582	93.263	0.000	38.249
2000	0.000	82.590	77.293	27.971	41.625
2001	2.373	87.249	74.005	32.569	38.424
2002	4.536	84.293	67.261	54.063	39.397

TABLA 3.11 CONSUMO DE COMBUSTIBLES EN LAS INDUSTRIAS DE MANUFACTURA Y CONSTRUCCIÓN (PJ) (CONTINUACIÓN)

AÑO	QUEROSENO	DIESEL	COMBUSTÓLEO	GAS NATURAL	TOTAL CON BIOMASA	TOTAL SIN BIOMASA
1990	2.446	42.053	265.130	453.322	915.208	842.341
1991	1.941	47.829	238.308	488.884	932.812	848.620
1992	2.072	69.682	223.681	473.244	926.875	849.394
1993	1.038	67.750	220.406	367.461	826.399	738.387
1994	1.071	63.088	229.852	364.176	819.704	747.556
1995	1.026	64.564	191.291	387.592	826.062	742.030
1996	1.218	69.290	227.027	429.200	913.426	830.179
1997	1.205	75.575	228.071	398.549	904.188	812.816
1998	0.124	81.943	230.187	440.064	957.271	863.149
1999	0.519	54.390	202.503	372.482	847.988	761.406
2000	1.540	54.803	185.795	398.393	870.010	787.420
2001	2.162	41.931	184.828	312.840	776.381	689.132
2002	1.695	40.393	155.293	369.374	816.305	732.012

Fuente: Balance Nacional de Energía 2000 y 2003, Cuadro 49 "Consumo de energía en el sector industrial"

que se hace con las industrias de la energía, es decir se utilizan los valores por defecto de los factores de emisión de carbono y las fracciones de carbono oxidado reportados en las tablas 1-1 y 1-6, páginas 1.13 y 1.29 del Volumen 3 "Manual de Referencia" de las Directrices revisadas 1996 del PICC sobre la elaboración de los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero.

Los factores de emisión requeridos para una estimación de nivel 2 de las emisiones de CH₄, N₂O, CO, NO_x, COVDM y el SO₂, se obtuvieron como a continuación se menciona.

Como se dijo antes, no se dispone de mediciones directas de emisiones ni de factores de emisión específicos del país o regionales, pero sí de datos de consumo

de combustible por tipo de tecnología. Además las tecnologías empleadas para cada combustible fueron las que se consideraron más representativas para México. Esto como resultado de una reunión celebrada por un grupo de expertos del Banco Mundial, la Secretaría de Energía y del Instituto de Ingeniería de la UNAM. Las tecnologías consideradas como las más adecuadas fueron las siguientes:

- Para el carbón bituminoso pulverizado, paredes de fuego.
- Para el combustóleo, quemadores normales.
- Para el gas natural, las calderas.

Los factores de emisión por defecto, expresados en unidades de kg/TJ de CH₄, N₂O, CO, NO_x, y COVDM para estos tres combustibles y tecnologías asociadas se tomaron de las tablas 1-8, 1-11, y 1-16, páginas 1.36, 1.42, y 1.54 del Manual de Referencia. De la tabla 1-16 del Manual de Referencia se tomaron los valores por defecto de nivel 2 de CH₄, N₂O, CO, y NO_x, para la combustión del carbón bituminoso y para el combustóleo en quemadores normales. Para el gas natural quemado en calderas se tomaron únicamente los valores por defecto de CH₄, CO, NO_x. De la tabla 1-11 del Manual de Referencia, se tomaron los valores por defecto de nivel 1 de COVDM para los tres combustibles y de la tabla 1-8 del Manual de Referencia solo se tomó el valor por defecto de nivel 1 de N₂O, para el

gas natural. La Tabla 3.12, resume los valores de los factores de emisión que son utilizados para el cálculo de las emisiones de CH₄, N₂O, CO, NO_x y COVDM por tipo de combustible utilizado en las Industrias de Manufactura y Construcción.

Los factores de emisión para la quema de biomasa en calderas, se tomaron de las tablas 1-7 a la 1-11, páginas 1.35, 1.36, 1.38, 1.40, y 1.42, del manual de Referencia del PICC, estos factores corresponden al nivel 1, debido a que no existen datos para el nivel 2.

Sobre el factor de emisión de SO₂ para cada combustible, éste depende principalmente del contenido de azufre del combustible y del valor calorífico neto del mismo, los cuales tienden a variar en el tiempo. La Tabla 1.1.3, de la parte 1.1.B de este documento, que presenta los valores del factor de emisión de SO₂ en unidades de kg/TJ para cada combustible de 1990 a 2002, los cuales se aplican también para las industrias de manufactura y construcción.

La selección adecuada del método y nivel, para estimar las emisiones, se llevó a cabo utilizando el árbol de decisión correspondiente a esta categoría de fuentes de emisiones, tal y como lo indica la Orientación del PICC sobre las Buenas Prácticas y la Gestión de la Incertidumbre en los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero. El método seleccionado para estimar las emisiones de CO₂, fue el método de nivel 1 descrito en el Manual de Referencia y que es conocido como método sectorial, su descripción se hace en el

TABLA 3.12 FACTORES DE EMISIÓN PARA LAS INDUSTRIAS DE MANUFACTURA Y CONSTRUCCIÓN, POR TIPO DE COMBUSTIBLE (KG/TJ)

	CO ₂	CO	CH ₄	NO _x	N ₂ O	COVDM
Carbón Bituminoso pulverizado, paredes de fuego	25.8	9	0.7	380	1.6	20
Combustóleo Quemador normal	20.2	15	3	170	0.3	5
Gas natural Calderas	15.3	16	1.4	64	0.1	5
Biomasa Calderas	30	4000	30	100	4	50

Fuente: Tablas 1-1, 1-8, 1-11, 1-16, Manual de Referencia del PICC

TABLA 3.13 EMISIONES DE LAS INDUSTRIAS DE MANUFACTURA Y CONSTRUCCIÓN (Gg)

Año	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO	NO _x	COVDM	SO ₂
1990	56624.30	3.84	0.54	304.17	115.92	8.82	601.04
1991	56084.84	3.92	0.57	349.65	112.54	9.29	539.16
1992	56598.10	3.72	0.55	322.76	115.25	9.07	525.48
1993	50317.78	4.01	0.58	363.11	108.78	9.05	517.89
1994	51298.34	3.56	0.53	299.74	110.56	8.41	536.05
1995	50690.98	3.84	0.59	347.16	110.36	9.12	583.39
1996	56709.92	4.00	0.62	347.51	130.58	10.27	549.73
1997	56176.47	4.25	0.65	377.53	124.36	10.01	557.04
1998	59156.92	4.42	0.67	389.32	128.90	10.41	566.60
1999	52601.50	4.01	0.62	357.56	118.20	9.54	507.29
2000	54181.15	3.91	0.59	342.12	116.12	9.23	457.52
2001	48562.57	3.90	0.59	359.19	108.76	8.95	452.12
2002	51002.13	3.81	0.58	348.09	108.80	8.95	388.47

anexo correspondiente a las fuentes fijas de combustión. Para los otros gases de efecto invernadero (CH₄ y N₂O) y contaminantes criterio (CO, NO_x, COVDM), así como el SO₂, se utiliza el procedimiento convencional. Este procedimiento consiste básicamente en multiplicar el factor de actividad de cada combustible por el correspondiente factor de emisión, y sumar las emisiones de cada combustible para obtener las emisiones totales de cada gas considerado.

3.3.2.3. Emisiones

La Tabla 3.13, muestra las emisiones estimadas en conformidad con los métodos seleccionados mediante la aplicación de la herramienta “árbol de decisión”, así como los factores de actividad y los factores de emisión aquí indicados.

La Tabla 3.14, presenta la evolución de las emisiones de los gases de efecto invernadero expresadas en unidades de gigagramos de CO₂ equivalente, para las industrias de las industrias de manufactura y construcción. Estas emisiones fueron ponderadas con los valores correspondientes del potencial de calentamiento global (GWP, siglas en inglés) de cada gas de efecto invernadero.

TABLA 3.14 EVOLUCIÓN DE LAS EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO PARA EL PERIODO 1990 – 2002 EN LAS INDUSTRIAS DE MANUFACTURA Y CONSTRUCCIÓN, EN UNIDADES DE Gg DE CO₂ EQUIVALENTE

Año	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	TOTAL
1990	56624.30	80.64	166.25	56871.19
1991	56084.84	82.42	175.25	56342.50
1992	56598.10	78.12	171.00	56847.23
1993	50317.78	84.12	180.64	50582.55
1994	51298.34	74.70	164.83	51537.87
1995	50690.98	80.59	181.51	50953.08
1996	56709.92	83.98	192.45	56986.36
1997	56176.47	89.20	201.09	56466.77
1998	59156.92	92.91	206.92	59456.75
1999	52601.50	84.18	192.62	52878.30
2000	54181.15	82.14	181.95	54445.24
2001	48562.57	81.92	183.46	48827.95
2002	51002.13	80.02	178.48	51260.63

3.3.3. Sector Comercial, Residencial y Agropecuario [1A4a, 1A4b, y 1A4c]

3.3.3.1. Datos de Actividad

Al igual que con las industrias de la energía y las industrias de manufactura y construcción, la fuente

oficial de información sobre los consumos de combustibles fósiles en el sector residencial, comercial y agropecuario, es la Secretaría de Energía (SENER) a través de los Balances Nacionales de Energía. La energía fósil consumida (sin considerar la biomasa) por el sector residencial en el 2002 fue de 321.460 PJ, un 9% más que la cantidad consumida en el año base (1990) que fue de 296.052 PJ. Los combustibles utilizados fueron el gas natural, el gas licuado, y los querosenos. Adicionalmente se consumió también biomasa sólida (leña) que el 2002 ascendió a 255.087 PJ, 9% más que en el año base. En el sector comercial el consumo de energía fósil en el 2002 fue de 76.361 PJ, 46% más que en el año base. Los combustibles utilizados fueron el gas licuado, el gas natural, el diesel y el combustóleo. Por lo que respecta al sector agropecuario, la energía fósil consumida en el 2002 fue de 81.513 PJ, un 19% más que en el año base. Los combustibles consumidos fueron el gas licuado, el diesel, y los querosenos. En la Tabla 3.15, se indican los consumos de combustibles y de biomasa por los tres sectores, para el periodo 1990 – 2002.

En el periodo 1990 – 2002, el gas natural, el gas licuado, y el diesel, fueron los de mayor consumo en los sectores, residencial, comercial, y agropecuario, (Tabla 1.3.1).

3.3.3.2. Factores de Emisión y Metodología

Las emisiones de CO₂, producto de la combustión de los combustibles utilizados en los sectores, residencial, comercial, y agropecuario, se obtienen de la misma manera que se hace con las industrias energéticas y las industrias de manufactura y construcción, es decir se utilizan los valores por defecto de los factores de emisión de carbono y las fracciones de carbono oxidado reportados en las tablas 1-1 y 1-6, páginas 1.13 y 1.29 del Volumen 3 “Manual de Referencia” de las Directrices revisadas 1996 del PICC sobre la elaboración de los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero. Los factores de emisión requeridos para una estimación de nivel 2 de las emisiones de CH₄, N₂O, CO, COVDM, y el SO₂, se obtuvieron como a continuación se menciona.

Para el sector residencial, se cuenta solamente con datos estadísticos por tipo de combustible y categoría de fuentes, las emisiones se calculan utilizando los factores de emisión por defecto indicados en las tablas 1-7, 1-8, 1-9, 1-10, y 1-11 del Manual de Referencia del PICC del nivel 1, y que se presentan en la Tabla 3.16.

Para el sector comercial por otra parte, se dispone de datos sobre el consumo de combustibles por tipo

TABLA 3.15 CONSUMO DE COMBUSTIBLES Y BIOMASA EN LOS SECTORES, RESIDENCIAL, COMERCIAL, Y AGROPECUARIO (PJ)

AÑO	GAS LICUADO	LEÑA	DIESEL	COMBUSTÓLEO	GAS NATURAL	QUEROSENOS
1990	274.337	234.668	61.436	30.817	33.921	16.32
1991	289.404	236.478	65.222	29.445	36.328	12.684
1992	315.384	238.310	67.251	32.460	37.467	11.873
1993	333.900	240.155	68.413	32.074	29.063	7.533
1994	353.743	242.018	65.606	31.713	27.114	7.167
1995	353.996	243.849	66.594	26.371	26.453	7.438
1996	366.046	245.420	70.725	30.716	28.980	8.902
1997	363.727	246.999	76.028	31.914	29.406	6.079
1998	381.132	248.590	80.828	33.116	27.405	1.632
1999	351.736	250.194	83.097		25.569	1.618
2000	363.618	251.815	83.041		26.925	1.416
2001	355.810	253.444	78.152		28.975	1.627
2002	359.245	255.087	75.927		32.185	1.637

Fuente: Balance Nacional de Energía, 2000 y 2003.

de tecnología y las emisiones se calculan utilizando los valores de los factores de emisión expresados en unidades de kg/TJ del nivel 2 del Manual de Referencia del PICC reportados en las tablas 1-19, 1-7, 1-8, y 1-11. Estos factores de emisión se presentan en la Tabla 3.17.

De la tabla 1-19, página 1.57 del Manual de Referencia, se tomaron los valores por defecto de CH₄, N₂O, CO, y NO_x, para el combustóleo destilado, y el gas natural, para el gas licuado se tomó solamente los promedios de los valores indicados para el CO y para los NO_x. De la tabla 1-11 se tomaron los factores por defecto de COVDM para el combustóleo destilado, el gas licuado y el gas natural. Finalmente de la tabla 1-8 se tomo el factor de emisión por defecto de N₂O para el gas licuado.

Finalmente para el sector agropecuario se tomaron los factores de emisión por defecto los cuales son del nivel 1 del Manual de Referencia del PICC y que se indican en las tablas 1-7, 1-8, 1-9, 1-10, 1-11. En la Tabla 3.18, se reproducen los valores de los factores de emisión por defecto.

Un resumen de los factores de emisión utilizados para la estimación de las emisiones de los gases que son diferentes del CO₂ por sector, del grupo de fuentes fijas de combustión se presenta en la tabla 3.19.

Los factores de emisión de SO₂, en los combustibles utilizados en las fuentes fijas de combustión, se obtuvieron tomando en consideración la densidad y contenido de azufre en los combustibles derivados del petróleo y el gas natural. En la tabla 3.20 se indican los valores del contenido de azufre de los combustibles principales utilizados en los cálculos de los factores de emisión de SO₂.

En la tabla 3.21, se indican los valores caloríficos netos de los combustibles en unidades de (TJ/kt) y en la tabla 3.22 los combustibles sólidos y líquidos, y en unidades de (kJ/m³) para los combustibles gaseosos.

Los valores caloríficos netos que se reportan en los Balances Nacionales de Energía para los combustibles líquidos están expresados en unidades de MJ/bl, por lo que es necesario convertir estas unidades a TJ/kt utilizando factores de conversión estándar y los datos

TABLA 3.17 FACTORES DE EMISIÓN POR TIPO DE COMBUSTIBLE Y TIPO DE TECNOLOGÍA PARA EL SECTOR COMERCIAL (KG/TJ)

COMBUSTIBLE	CO ₂	CO	CH ₄	NOx	N ₂ O	COVDM
Combustóleo destilado						
Calderas	21.1	16	0.7	65	0.4	5
GLP						
Calderas	17.2	10.2	10	70.5	0.6	5
Gas natural						
Calderas	15.3	9.4	1.2	45	2.3	5

TABLA 3.18 FACTORES DE EMISIÓN POR TIPO DE COMBUSTIBLE Y TIPO DE FUENTE PARA EL SECTOR AGROPECUARIO

COMBUSTIBLE	CO ₂	CO	CH ₄	NOx	N ₂ O	COVDM
DIESEL	tC/TJ			KG/TJ		
Móvil	20.2	1000	5	800	0.6	200

Fuente: Tablas 1-1, 1-7, 1-8, 1-9, 1-10, y 1-11 del Manual de Referencia

TABLA 3.19 FACTORES DE EMISIÓN DE LOS GASES CH₄, N₂O, CO, NO_x, COVDM, SO₂ POR TIPO DE COMBUSTIBLE Y POR SECTOR (KG/TJ)

GAS / COMBUSTIBLE	SECTOR				
	INDUSTRIAS DE LA ENERGÍA	INDUSTRIAS DE MANUFACTURA Y CONSTRUCCIÓN	RESIDENCIAL	COMERCIAL	AGROPECUARIO
CH ₄					
Carbón	0.7	0.7	300	10	
Deriv Petróleo	0.9	3	10	10	5
Gas natural	0.1	1.4	5	1.2	5
Leña	30	30	300	300	
Bagazo de caña	30	30	300	300	
NO _x					
Carbón	380	380	100	100	
Deriv Petróleo	200	170	100	70.5	1200
Gas natural	250	64	50	45	100
Leña	100	100	100	100	
Bagazo de caña	100	100	100	100	
N ₂ O					
Carbón	1.6	1.6	1.4	1.4	
Deriv Petróleo	0.3	0.3	0.6	0.6	0.6
Gas natural	0.1	0.1	0.1	2.3	0.1
Leña	4	4	4	4	
Bagazo de caña	4	4	4	4	
CO					
Carbón	9	9	2000	2000	
Deriv Petróleo	15	15	20	10.2	1000
Gas natural	18	16	50	9.4	400
Leña	1000	2000	5000	5000	
Bagazo de caña	1000	4000	5000	5000	
COVDM					
Carbón	5	20	200	200	
Deriv Petróleo	5	5	5	5	200
Gas natural	5	5	5	5	5
Leña	50	50	600	600	
Bagazo de caña	50	50	600	600	

TABLA 3.20 CONTENIDO DE AZUFRE DE LOS COMBUSTIBLES

COMBUSTIBLE	% PESO	G/M3
Carbón	1	
Combustóleo	4	
Diesel	0.5	
Gas licuado	0.014	
Gas natural		0.258

Fuente: Norma oficial Mexicana, NOM-086-ECOL-1994

de densidad del combustible. La ecuación matemática para realizar esta conversión es la siguiente:

$$\text{VCN [MJ/bl]} \times [1/0.159] \times [1/\text{Densidad (kg/m}^3)] = \text{VCN [TJ/kt].}$$

$$\text{FE (SO}_2\text{) (kg/TJ)} = 2 \times (\text{s}/100) \times (1/\text{VCN[TJ/kt]}) \times$$

$$\text{Factor de conversión (10}^6\text{ kg/kt).}$$

Donde, s es el contenido de azufre en el combustible (%).

Los factores de emisión de SO₂ para cada combustible utilizado en las fuentes fijas de combustión se indicaron en la Tabla 3.7 de este documento.

La selección adecuada del método y nivel, para estimar las emisiones, se llevó a cabo utilizando el árbol de decisión correspondiente a esta categoría de fuentes de emisiones, tal y como lo indica la Orientación del PICC sobre las Buenas Prácticas y la Gestión de la Incertidumbre en los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero. El método seleccionado para estimar las emisiones de CO₂, fue el método de nivel 1 descrito en el Manual de Referencia y que es conocido como método sectorial, su descripción se hace en el anexo correspondiente a las fuentes fijas de combustión. Para los otros gases de efecto invernadero (CH₄ y N₂O) y contaminantes criterio (CO, NO_x, COVDM), así como el SO₂, se utilizó el procedimiento convencional ya descrito en las secciones anteriores.

3.3.3.3. Emisiones

La Tabla 3.23, muestra las emisiones estimadas en conformidad con los métodos seleccionados mediante

TABLA 3.21 VALOR CALORÍFICO NETO (VCN) DE LOS COMBUSTIBLES (TJ/KT)

AÑO	TJ/KT				KJ/M ³
	CARBÓN	COMBUSTÓLEO	DIESEL	GAS LICUADO	
1990	18.197	41.210	45.010	51.898	36,547
1991	18.197	41.405	44.870	50.731	36,732
1992	18.197	41.269	44.762	50.657	36,513
1993	18.197	41.269	44.762	50.657	36,513
1994	19.155	41.515	45.002	51.935	36,513
1995	18.560	41.710	45.010	51.886	34,322
1996	18.982	41.522	44.459	51.464	36,048
1997	19.378	41.541	44.521	49.590	35,217
1998	18.845	41.509	44.505	49.590	35,021
1999	18.872	41.509	44.505	46.338	33,427
2000	19.136	41.509	44.505	46.338	33,427
2001	18.796	41.509	43.200	46.338	33,913
2002	19.405	41.509	43.200	46.338	33,913

Fuente: Balance Nacional de Energía, cuadro 37. 1990 – 2003, valores convertidos del combustóleo, el diesel, y el gas licuado.

TABLA 3.22 VALORES DE LAS DENSIDADES DE LOS COMBUSTIBLES
UTILIZADOS SON LOS SIGUIENTES

COMBUSTIBLE	DENSIDAD (KG/M ³)
Combustóleo	968.5
Gas licuado	809.6
Diesel	506.8

Fuente: Memorias de Labores de PEMEX 1999, 2000.

la aplicación de la herramienta “árbol de decisión”, así como los factores de actividad y los factores de emisión para los sectores, residencial, comercial, y agropecuario. La Tabla 3.24, presenta la evolución de las emisiones de los gases de efecto invernadero expresadas en unidades de gigagramos de CO₂ equivalente, para los sectores, residencial, comercial y agropecuario. Estas emisiones fueron ponderadas con los valores correspondientes del potencial de calentamiento

TABLA 3.23 EMISIONES DE LOS SECTORES, RESIDENCIAL, COMERCIAL, Y AGROPECUARIO (Gg)

Año	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO	NOx	COVDM	SO ₂
1990	27048.32	74.06	1.17	1249.24	137.18	156.23	75.50
1991	28037.23	74.74	1.19	1260.55	140.67	157.80	73.61
1992	30044.90	75.60	1.21	1270.57	143.97	159.11	80.27
1993	30478.72	76.23	1.23	1279.86	145.48	160.31	79.67
1994	31349.32	76.96	1.25	1285.60	142.76	160.76	77.92
1995	31010.79	77.46	1.25	1296.64	144.90	162.23	67.62
1996	32644.07	78.14	1.27	1309.67	152.45	164.22	77.46
1997	32802.81	78.60	1.28	1322.61	158.31	166.18	81.00
1998	33905.45	79.26	1.29	1330.13	159.36	167.09	84.47
1999	29596.53	79.09	1.26	1346.40	164.75	169.57	21.13
2000	30395.60	79.70	1.28	1353.72	164.81	170.41	21.20
2001	29679.05	80.09	1.28	1358.19	159.89	170.63	20.55
2002	29910.26	80.62	1.28	1364.60	158.05	171.25	20.09

TABLA 3.24 EVOLUCIÓN DE LAS EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO PARA EL PERIODO 1990 – 2002
EN LOS SECTORES, RESIDENCIAL, COMERCIAL, Y AGROPECUARIO, EN UNIDADES DE Gg DE CO₂ EQUIVALENTE

Año	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	TOTAL
1990	27048.316	1555.196	363.261	28966.773
1991	28037.229	1569.543	368.155	29974.928
1992	30044.900	1587.517	376.082	32008.500
1993	30478.716	1600.912	380.720	32460.348
1994	31349.325	1616.255	385.999	33351.579
1995	31010.792	1626.687	387.528	33025.007
1996	32644.069	1640.919	393.627	34678.615
1997	32802.814	1650.654	395.849	34849.317
1998	33905.452	1664.538	401.294	35971.284
1999	29596.526	1660.802	392.015	31649.343
2000	30395.603	1673.684	396.221	32465.508
2001	29679.055	1681.887	395.970	31756.912
2002	29910.264	1692.982	398.313	32001.559

TABLA 3.25 EMISIONES GASES DE EFECTO INVERNADERO Y PRECURSORES DEL OZONO EN FUENTES FIJAS DE COMBUSTIÓN EN EL PERIODO 1990 – 2002 (Gg)

Año	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO	NOx	COVDM	SO ₂
1990	188379.64	78.86	2.17	1576.56	586.30	172.47	2319.09
1991	191776.65	79.66	2.23	1634.03	596.69	174.73	2208.05
1992	192666.51	80.28	2.23	1616.99	600.83	175.75	2187.80
1993	187114.70	81.18	2.30	1666.53	600.57	176.92	2199.01
1994	203548.65	81.60	2.35	1611.80	645.06	177.71	2500.60
1995	191368.47	82.27	2.38	1667.65	614.89	179.08	2381.94
1996	209485.69	83.16	2.50	1683.48	684.24	183.01	2400.83
1997	222270.73	83.94	2.57	1729.93	732.15	185.73	2590.03
1998	242420.53	84.91	2.66	1752.06	776.99	187.94	2773.21
1999	226896.49	84.27	2.57	1735.41	756.49	189.20	2642.09
2000	241416.78	84.86	2.59	1730.81	804.03	190.76	2712.47
2001	233899.51	85.21	2.64	1751.33	789.38	190.48	2663.78
2002	233381.75	85.56	2.67	1747.29	807.00	191.26	2393.12

global (GWP, siglas en inglés) de cada gas de efecto invernadero.

3.3.4. Resumen de Emisiones de las Fuentes Fijas de Combustión [1A1, 1A2, 1A4a, 1A4b, y 1A4c]

Las emisiones de gases de efecto invernadero y gases precursores del ozono, derivadas de la quema de combustibles fósiles en las fuentes fijas de combustión de la Categoría de Energía, se presentan en la tabla 3.25, expresadas en unidades de gigagramos de gas (Gg), y en la tabla 3.26 se muestran las emisiones únicamente de los gases de efecto invernadero expresados en unidades de gigagramos de CO₂ equivalente.

La incertidumbre estimada para los factores de emisión, los datos de actividad y las emisiones de gases de efecto invernadero de las fuentes fijas de combustión fueron como se indica en la Tabla 3.27.

3.4. Transporte [1A3]

El sector transporte (TRA) cubren las emisiones de gases de efecto invernadero y de otros gases precursores del ozono que se generan por la quema de com-

TABLA 3.26 EMISIONES GASES DE EFECTO INVERNADERO DE LAS FUENTES FIJAS DE COMBUSTIÓN, EN Gg CO₂ EQUIVALENTE

Año	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	TOTAL
1990	188379.64	1656.11	671.32	190707.08
1991	191776.65	1672.76	689.80	194139.21
1992	192666.51	1685.85	691.29	195043.65
1993	187114.70	1704.71	712.74	189532.15
1994	203548.65	1713.70	728.56	205990.91
1995	191368.47	1727.60	739.14	193835.21
1996	209485.69	1746.33	776.54	212008.56
1997	222270.73	1762.81	798.24	224831.78
1998	242420.53	1783.11	825.64	245029.28
1999	226896.49	1769.71	798.03	229464.23
2000	241416.78	1782.00	803.59	244002.37
2001	233899.51	1789.31	819.62	236508.44
2002	233381.75	1796.85	827.06	236005.67

bustibles derivados del petróleo en los cuatro modos de transporte conocidos: el transporte automotor, el transporte aéreo, el transporte ferroviario y el transporte marítimo.

TABLA 3.27 DATOS DE LA INCERTIDUMBRE ASOCIADA A LOS DATOS DE ACTIVIDAD Y A LOS FACTORES DE EMISIÓN (%) PARA LAS FUENTES FIJAS DE COMBUSTIÓN

FUENTES FIJAS DE COMBUSTIÓN. ACTIVIDAD	ACTIVIDAD INCERTIDUMBRE (%)	FACTORES DE EMISIÓN INCERTIDUMBRE (%)		
		CH ₄	N ₂ O	CO ₂
Electricidad Pública	1	100	1000	5
Combustión Comercial/Institucional y Residencial	5	100	1000	5
Combustión Industrial	3	100	1000	5
Biomasa en fuentes pequeñas (Agropecuario).	30; 60	100	1000	5

3.4.1. Transporte Automotor [1A3a]

El sector del transporte es una de las fuentes más importantes de emisiones de gases de efecto invernadero a escala mundial. Esta categoría de fuentes cubre los cuatro modos de transporte, - (A) transporte automotor, (B) transporte aéreo, (C) transporte ferroviario, y (D) transporte marítimo. De estos cuatro modos de transporte, el transporte automotor es considerado como el mayor emisor de gases de efecto invernadero directo (CO₂, CH₄, N₂O) y de contaminantes del aire como el CO, los NO_x, los COVDM, y el SO₂.

En el 2002, el consumo de combustibles en el sector del transporte fue de 1605.489 PJ, de estos el 91% lo consumió el transporte automotor, el 6% el transporte aéreo, el 2% el transporte marítimo y el 1% restante lo consumió el transporte ferroviario. La distribución de los combustibles en 2002 fue la siguiente; gasolinas, 1042.844 PJ (65%); diesel, 416.520 PJ (26%); los querosenos, 87.840 PJ (5.4%); gas licuado de petróleo 53.755 PJ (3.3%); y combustóleo, 4.531 PJ (0.3%).

El transporte automotor incrementó su consumo de combustibles en el periodo 1990 – 2002, un 28%, al pasar de 1147.016 PJ en 1990 a 1464.779 PJ en 2002. El consumo porcentual de combustibles en 2002 esta integrado de la manera siguiente: 71% gasolinas, 25% diesel, y 4% gas licuado de petróleo.

En la literatura técnica relacionada con el transporte automotor, se manejan dos criterios igualmente aceptables para estimar las emisiones de gases de efec-

to invernadero del transporte automotor. El primero se basa en datos sobre los consumos de combustibles en vehículos, desglosados por tipo de vehiculo y tecnología de control de emisiones asociada a cada tipo de vehiculo, el segundo se basa en el uso de los kilómetros recorridos por los vehículos. Es recomendable documentar claramente las razones por las cuales se elige cualquiera de estos dos criterios para la estimación de las emisiones. En nuestro caso, la elección del primer criterio fue que no se cuenta con información suficiente sobre la distribución detallada de vehículos a escala nacional, ni cuantos vehículos realmente existen. Sin embargo, los consumos de combustibles registrados de manera oficial, se encuentran en las estadísticas de nacionales de energía de la Secretaría de Energía y están disponibles bajo la forma de los Balances Nacionales de Energía.

3.4.1.1. Datos de Actividad

En la Tabla 3.28 se indican los consumos de combustibles en unidades de energía (PJ), utilizados para el cálculo de las emisiones de CH₄, N₂O, CO, NO_x, COVDM, y SO₂, aplicando el método de nivel 2.

3.4.1.2. Factores de Emisión y Metodología.

La estimación de las emisiones de los gases de efecto invernadero y de los gases contaminantes del aire requiere de la selección adecuada del método de esti-

TABLA 3.28 CONSUMO DE COMBUSTIBLES EN EL TRANSPORTE AUTOMOTOR, PERIODO 1990 – 2002 (PJ)

AÑO	GAS LICUADO	NOVA	MAGNA ZMVM	MAGNA RESTO País	PREMIUM	DIESEL NACIONAL	DIESEL DESULFURADO	DIESEL SIN/PEMEX DIESEL	GAS NATURAL
1990	15.238	737.989	0.000	99.938	0.000	246.018	47.833	0.000	
1991	16.073	811.267	0.000	91.641	0.000	243.766	66.861	0.000	
1992	17.521	721.747	0.000	191.016	0.000	115.703	199.344	0.000	
1993	17.680	615.664	0.000	314.625	0.000	5.562	305.907	14.722	
1994	17.872	522.808	148.071	284.372	0.000	0.000	227.253	114.983	
1995	18.557	419.220	157.498	352.178	0.000	0.000	101.963	204.035	
1996	19.179	362.999	173.990	389.054	3.048	0.000	31.351	294.571	
1997	19.067	149.610	259.880	525.843	22.724	0.000	1.284	342.836	
1998	19.706	0.000	301.509	623.068	58.608	0.000	0.000	354.984	
1999	35.344	0.000	289.625	586.565	80.078	0.000	0.000	365.357	0.354
2000	45.241	0.000	296.990	589.559	110.584	0.000	0.000	373.237	0.195
2001	48.312	0.000	294.379	584.375	136.327	0.000	0.000	363.605	0.455
2002	53.755	0.000	294.423	584.464	163.160	0.000	0.000	368.977	0.666

Fuente: Díaz (2001a); PEMEX (2004); IMT (1994, 2002, 2003); SENER (2000a, 2003a)

mación, de los datos de actividad y de los factores de emisión, a través de la aplicación de los árboles de decisión correspondientes. En el Manual de Referencia de las Directrices del PICC, se describen dos métodos para estimar las emisiones de CO₂ procedentes de la quema de combustibles en el transporte automotor. El método de nivel 1 o método de “arriba hacia abajo”, calcula las emisiones de CO₂ aplicando básicamente los mismos pasos utilizados en el método de referencia de las fuentes fijas de combustión, y el método de nivel 2 o método de “abajo hacia arriba”, estima las emisiones en dos etapas o pasos. En el primer paso se estima el consumo por tipo de combustible y por tipo de vehículo. En el segundo paso se estiman las emisiones totales de CO₂ multiplicando el consumo de combustible por un factor de emisión adecuado para el tipo de combustible y el tipo de vehículo.

En la Orientación del PICC sobre las Buenas Prácticas y la Gestión de la Incertidumbre en los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero (OBPGIINGEI), se recomienda calcular las emisiones de CO₂ con base en las estadísticas de consumo de combustibles utilizando el método de nivel 1, debido a que es más fiable y más sencillo de aplicar, y de manera paralela aplicar el método de nivel 2.

Un señalamiento que se hace en cuanto a la aplicación de los dos métodos, es que si existen diferencias significativas entre los resultados de ambos métodos, significa que cualquiera de ellos o los dos pueden tener errores, lo que requiere un análisis más profundo. La estimación fiable y exacta de las emisiones de CO₂ con el método de nivel 2, incrementa la confianza en los datos de actividad subyacentes los cuales constituyen una base importante para estimar las emisiones de CH₄ y N₂O aplicando el método de nivel 2.

En LA TABLA 1-1 del Manual de Referencia de las Directrices del PICC, se indica que los factores de emisión de CO₂ que se reportan para su uso en la estimación de las emisiones de CO₂, están basados en el contenido de carbono del combustible. Así para la gasolina el valor por defecto es 18.9 tC/TJ, para el gas licuado de petróleo 16.7 tC/TJ, para el gas natural 15.3 tC/TJ y para el diesel 20.2 tC/TJ respectivamente.

Los factores de emisión de CH₄ y N₂O están basados en la tecnología de control de emisiones asociada a cada tipo de vehículo, por lo que es recomendable como una buena práctica el calcular un factor de emisión para cada tipo de combustible y para cada tipo de vehículo, de acuerdo con la variedad de tipos de motores existentes en el país, así como la distribución

de las tecnologías de reducción de las emisiones que se encuentran instaladas en los vehículos.

Datos publicados recientemente por la Oficina de Fuentes Móviles del Organismo de Protección del Medio Ambiente de los Estados Unidos, indican la necesidad de actualizar los valores de los factores de emisión por defecto que figuran en el Manual de Referencia de las Directrices del PICC para los vehículos estadounidenses con motor a gasolina. En la OBPGIINGEI se recomienda la sustitución de los factores de emisión de N_2O indicados en el Manual de Referencia de las Directrices del PICC para los vehículos estadounidenses en los cuadros 1-27 hasta 1-33, por los factores de emisión del cuadro 2.7 página 2.50 de la OBPGIINGEI.

En el Informe del Inventario del Sector Transporte del 30 de Noviembre el 2005, se menciona lo siguiente:

“En el caso de México, durante la década de 1990-2000, se tuvo un cambio tecnológico importante en la flota vehicular, se introdujeron convertidores catalíticos en los vehículos a gasolina como una de las medidas más importantes de mitigación de monóxido de carbono, hidrocarburos y óxidos de nitrógeno. El efecto de este cambio en las emisiones, no se puede evaluar utilizando los factores de emisión por defecto recomendados por el PICC para CH_4 , N_2O , NO_x , CO y $COVDM$.

La solución consistió en calcular las emisiones a través de los métodos de Nivel 2 y 3 que propone el PICC. Se calcularon estas emisiones mediante un método de Nivel 2 para el transporte automotor para los años 2000, 2001 y 2002. Sin embargo, el cálculo de la serie histórica completa de emisiones con este nivel de desagregación no fue posible, pero la “*Guía de Buenas Prácticas y Manejo de la Incertidumbre*” es muy clara respecto a que la serie temporal debe mantener su coherencia. Para ello propone en su sección 7.3.2.2 “Otras Técnicas para hacer Nuevos Cálculos” opciones para enfrentar esta situación. El primer paso que se sugiere es evaluar las circunstancias de cada caso y determinar la opción que mejor convenga.

La “*Guía de Buenas Prácticas y Manejo de la Incertidumbre*” propone por otro lado, elaborar una aproximación a la medida de las circunstancias señalando que

“las opciones usuales pueden no servir si las condiciones técnicas cambian en el curso de la serie temporal, por ejemplo, cuando se introducen tecnologías de mitigación”.

Así, el enfoque usado fue el ajustar la serie temporal de emisiones del transporte automotor a través de la simulación de factores de emisión de Nivel 1 (TIER-1) para CH_4 , N_2O , NO_x , CO y $COVDM$. De esta manera se hizo un esfuerzo que se base en los factores de emisión y no en la actividad.

El ajuste se realizó con base en el pie de página de la Tabla 1.8 del Manual de Referencia del PICC que, refiriéndose al factor de emisión del N_2O , establece que “cuando existe una alta proporción de automóviles con convertidor catalítico de tres vías en el país, este factor de emisión debe incrementarse en concordancia con esta proporción”.

Esto es razonable, ya que el cambio tecnológico más importante en México ha sido la incorporación de autos y vehículos ligeros a gasolina con convertidor catalítico de tres vías al parque vehicular. Por ello, se estimó la proporción de vehículos con convertidores catalíticos con respecto al parque vehicular total.

El siguiente paso fue la determinación de los factores de emisión de CH_4 , N_2O , NO_x , CO y $COVDM$ para vehículos con convertidores catalíticos de tres vías, mediante el establecimiento de fórmulas pertinentes para cada GEI. Las fórmulas son, en esencia, promedios ponderados del factor de emisión de los vehículos que no tienen convertidor catalítico y del factor de emisión de los vehículos que si tienen convertidor catalítico”.

Así los factores de emisión desarrollados con esas formulas se utilizan para calcular las emisiones de los gases de efecto invernadero y precursores del ozono del transporte automotor, estos se presentan en la Tabla 3.29.

En la tabla 3.30, se presentan los factores de emisión de SO_2 para el transporte automotor, tomado en cuenta el contenido de azufre promedio de los combustibles y los valores caloríficos netos.

Para las emisiones de CO_2 , en las fuentes móviles de combustión, se utiliza el método sectorial de nivel 1, debido a que los datos de actividad son efectivamen-

TABLA 3.29 FACTORES DE EMISIÓN DE GASES DE EFECTO INVERNADERO Y PRECURSORES DEL OZONO EN TRANSPORTE AUTOMOTOR (KG/TJ)

GASOLINA					
Año	CH ₄	N ₂ O	NOx	CO	COVDM
1990	46.800	1.500	435.000	8000.000	780.000
1991	46.800	1.500	435.000	8000.000	780.000
1992	46.800	1.500	435.000	8000.000	780.000
1993	45.390	1.767	419.076	7707.146	756.498
1994	43.895	2.050	402.197	7396.723	731.587
1995	43.242	2.174	394.824	7261.128	720.706
1996	42.205	2.371	383.109	7045.682	703.416
1997	40.685	2.659	365.941	6729.955	678.079
1998	38.681	3.039	343.318	6313.896	644.690
1999	36.719	3.410	321.161	5906.405	611.991
2000	34.215	3.885	292.878	5386.338	570.248
2001	31.740	4.354	264.927	4872.392	528.998
2002	29.686	4.743	241.734	4445.947	494.770
GAS LICUADO					
Año	CH ₄	N ₂ O	NOx	CO	COVDM
1990	46.800	1.500	435.000	8000.000	780.000
1991	46.800	1.500	435.000	8000.000	780.000
1992	46.800	1.500	435.000	8000.000	780.000
1993	46.800	1.500	435.000	8000.000	780.000
1994	46.800	1.500	435.000	8000.000	780.000
1995	46.800	1.500	435.000	8000.000	780.000
1996	46.800	1.500	435.000	8000.000	780.000
1997	46.800	1.500	435.000	8000.000	780.000
1998	46.800	1.500	435.000	8000.000	780.000
1999	46.800	1.500	435.000	8000.000	780.000
2000	46.800	1.500	435.000	8000.000	780.000
2001	46.800	1.500	435.000	8000.000	780.000
2002	46.800	1.500	435.000	8000.000	780.000
GAS NATURAL					
Año	CH ₄	N ₂ O	NOx	CO	COVDM
1990	50.000	0.100	600.000	400.000	5.000
1991	50.000	0.100	600.000	400.000	5.000
1992	50.000	0.100	600.000	400.000	5.000
1993	50.000	0.100	600.000	400.000	5.000
1994	50.000	0.100	600.000	400.000	5.000
1995	50.000	0.100	600.000	400.000	5.000
1996	50.000	0.100	600.000	400.000	5.000
1997	50.000	0.100	600.000	400.000	5.000
1998	50.000	0.100	600.000	400.000	5.000

TABLA 3.29 FACTORES DE EMISIÓN DE GASES DE EFECTO INVERNADERO Y PRECURSORES DEL OZONO EN TRANSPORTE AUTOMOTOR (KG/TJ)
(CONTINUACIÓN)

1999	50.000	0.100	600.000	400.000	5.000
2000	50.000	0.100	600.000	400.000	5.000
2001	50.000	0.100	600.000	400.000	5.000
2002	50.000	0.100	600.000	400.000	5.000

DIESEL					
Año	CH ₄	N ₂ O	NOx	CO	COVDM
1990	5.000	0.600	677.000	1000.000	200.000
1991	5.000	0.600	677.000	1000.000	200.000
1992	5.000	0.600	677.000	1000.000	200.000
1993	5.000	0.600	677.000	1000.000	200.000
1994	5.000	0.600	677.000	1000.000	200.000
1995	5.000	0.600	677.000	1000.000	200.000
1996	5.000	0.600	677.000	1000.000	200.000
1997	5.000	0.600	677.000	1000.000	200.000
1998	5.000	0.600	677.000	1000.000	200.000
1999	5.000	0.600	677.000	1000.000	200.000
2000	5.000	0.600	677.000	1000.000	200.000
2001	5.000	0.600	677.000	1000.000	200.000
2002	5.000	0.600	677.000	1000.000	200.000

Fuente: Informe del Inventario del Sector Transporte; E. Mar; 30 Nov., 2005.

TABLA 3.30 FACTORES DE EMISIÓN DE SO₂ PARA EL TRANSPORTE AUTOMOTOR (KG/TJ)

Año	GASOLINA				GAS LICUADO	DIESEL		
	NOVA	MAGNA RESTO PAÍS	MAGNA ZMVM	PREMIUM		NACIONAL	DESULFURADO	SIN
1990	67.390	44.920	22.460	22.460	5.920	457.980	228.990	22.900
1991	67.390	44.920	22.460	22.460	5.920	457.980	228.990	22.900
1992	67.390	44.920	22.460	22.460	5.920	457.980	228.990	22.900
1993	67.390	44.920	22.460	22.460	5.920	457.980	228.990	22.900
1994	67.390	44.920	22.460	22.460	5.920	457.980	228.990	22.900
1995	67.390	44.920	22.460	22.460	5.920	457.980	228.990	22.900
1996	67.390	44.920	22.460	22.460	5.920	457.980	228.990	22.900
1997	67.390	44.920	22.460	22.460	5.920	457.980	228.990	22.900
1998	67.390	44.920	22.460	22.460	5.920	457.980	228.990	22.900
1999	67.390	44.920	22.460	22.460	5.920	457.980	228.990	22.900
2000	67.390	44.920	22.460	22.460	5.920	457.980	228.990	22.900
2001	67.390	44.920	22.460	22.460	5.920	457.980	228.990	22.900
2002	67.390	44.920	22.460	22.460	5.920	457.980	228.990	22.900

Fuente: Informe del Inventario del Sector Transporte; E. Mar; 30 Nov., 2005.

te los consumos de combustibles, la aplicación de este método necesita, como se ha mencionado a lo largo de este documento aplicar los factores de emisión de carbono y las fracciones de carbono oxidado de los combustibles para cada categoría de combustible.

Las derivaciones de los factores de emisión de los gases de efecto invernadero excluyendo al CO₂ para el Transporte Automotor a gasolina, se describen en el anexo referente a las fuentes móviles de combustión.

3.4.1.3. Emisiones

Las emisiones estimadas de CO₂ y de los otros dos gases de efecto invernadero así como los precursores del ozono siguiendo las metodologías seleccionadas a través de la utilización de los árboles de decisión adecuados y los factores de emisión indicados (Tablas 3.29 y 3.30), se presentan en la Tabla 3.31. En la Tabla 3.32 se presentan los gases de efecto invernadero del transporte automotor, expresados en unidades de Gg de CO₂ equivalente.

3.4.2. Transporte Aéreo [1A3b]

En el Manual de Referencia de las Directrices del PICC, se indica que la categoría “aviación civil” abar-

ca tanto las aeronaves nacionales como internacionales de uso civil y comercial, que transportan pasajeros y carga de una manera regular, como los aviones que prestan servicios no regulares por ejemplo los aviones agrícolas, los helicópteros y los aviones de reacción privados.

Las fuentes fijas de combustión y el transporte terrestre utilizados en los aeropuertos no forman parte de esta categoría de fuentes.

3.4.2.1. Datos de Actividad

El cálculo de los gases de efecto invernadero se hace sobre la base de los movimientos agregados de las aeronaves, el cual separa las actividades y los factores de emisión en Ciclo de Aterrizaje-Despegue (LTO) y Crucero.

El combustible anual utilizado (expresado en unidades de peso – toneladas) en las etapas del ciclo LTO se estima multiplicando en número de ciclos LTO al año de las aeronaves nacionales por el valor por defecto del consumo de combustible por ciclo LTO (kg/LTO), indicado en la tabla 1-52, página 1.98, del Manual de Referencia en la categoría de vuelos domésticos, y dividir el resultado entre 1000 para convertir los kilogramos en toneladas.

TABLA 3.31 EMISIONES GEI Y PRECURSORES DEL OZONO DEL TRANSPORTE AUTOMOTOR (Gg)

Año	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO	NOx	COVDM	SO ₂
1990	79958.319	41.397	1.433	6997.267	563.435	712.353	177.937
1991	85697.206	44.561	1.541	7533.891	603.059	766.394	185.833
1992	86785.208	45.113	1.558	7617.151	610.339	774.965	155.960
1993	88814.398	44.684	1.840	7496.064	610.693	769.000	128.661
1994	91715.121	44.478	2.164	7407.963	615.893	767.296	106.109
1995	87291.321	42.566	2.203	7050.831	573.911	730.661	75.739
1996	88803.353	41.739	2.398	6872.002	576.592	718.722	59.953
1997	92118.220	41.591	2.754	6791.800	583.562	718.462	48.308
1998	94677.528	40.728	3.201	6562.712	577.869	704.846	44.322
1999	94559.195	38.612	3.480	6013.605	554.675	658.299	43.228
2000	98531.788	38.110	4.098	5744.138	544.837	643.261	44.452
2001	99257.413	36.320	4.638	5309.473	515.356	609.696	44.536
2002	101843.184	35.328	5.164	5001.863	502.095	589.369	45.299

TABLA 3.32 EMISIONES GEI DEL TRANSPORTE AUTOMOTOR EN UNIDADES EN GG DE CO₂ EQUIVALENTE

Año	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	TOTAL
1990	79958.319	869.345	444.292	81271.956
1991	85697.206	935.790	477.629	87110.625
1992	86785.208	947.363	483.034	88215.605
1993	88814.398	938.366	570.256	90323.020
1994	91715.121	934.045	670.718	93319.884
1995	87291.321	893.881	682.936	88868.138
1996	88803.353	876.529	743.513	90423.395
1997	92118.220	873.421	853.723	93845.365
1998	94677.528	855.283	992.276	96525.086
1999	94559.195	810.848	1078.827	96448.870
2000	98531.788	800.313	1270.320	100602.422
2001	99257.413	762.729	1437.725	101457.867
2002	101843.184	741.891	1600.783	104185.857

TABLA 3.33 OPERACIONES DEL TRANSPORTE AÉREO EN MÉXICO

TIPO DE VUELO	1990	1992	1994	1996	1998	2000	2001	2002
Nacional	844,000	1,036,739	1,228,435	1,067,536	1,115,858	1,158,188	1,188,722	1,175,410
Internacional	243,000	239,271	271,229	278,845	304,134	312,825	276,992	281,605
Total	1087,000	1276,010	1499,664	1346,381	1419,992	1471,013	1465,714	1457,015

Fuente: SCT 2004, Anexos

El combustible anual utilizado en la etapa de crucero se estima como el uso total de combustible menos el combustible utilizado en la etapa del ciclo LTO del vuelo. El uso de combustible en la aviación nacional e internacional se estima por separado. En la Tabla 3.33, se indican las operaciones de transporte aéreo en México tanto de naves nacionales como internacionales para los años 1990, 1992, 1994, 1996, 1998, 2000, 2001 y 2002.

En la Tabla 3.34, se indican los números de ciclos LTO realizados por aeronaves nacionales e internacionales en los años 1990, 1992, 1994, 1996, 1998, 2000, 2001 y 2002.

En la Tabla 3.35, se presenta el consumo total anual de combustible y las proporciones (basadas en los números de vuelos nacionales e internacionales con

respecto al total de vuelos registrados al año) que consumen las aeronaves nacionales y las internacionales.

3.4.2.2. Factores de Emisión y Metodología

En el Manual de Referencia de las Directrices del PICC se describen tres métodos para estimar las emisiones de gases de efecto invernadero, el primer método o método de nivel 1 se basa exclusivamente en el consumo de combustible, los otros dos métodos son de nivel 2, denominados método de nivel 2 a y método de nivel 2b. Estos dos métodos se basan en el número de ciclos de aterrizaje y despegue (LTO siglas en inglés) y en el consumo de combustible. Los tres métodos son capaces de detectar los cambios tecnológicos que afectan el consumo de combustible, sin embargo solamente el

TABLA 3.34 NÚMERO DE CICLOS LTO DEL TRANSPORTE AÉREO EN MÉXICO

TIPO DE VUELO	1990	1992	1994	1996	1998	2000	2001	2002
Nacionales	422,000	518,370	614,218	533,768	557,929	579,094	594,361	587,705
Internacionales	121,500	119,636	135,615	139,423	152,067	156,413	138,496	140,803
Total	543,500	638,005	749,832	673,191	709,996	735,507	732,857	728,508

Fuente: Tabla derivada de los datos de la información sobre las operaciones del transporte aéreo, SCT 2004, Anexos

TABLA 3.35 CONSUMO DE COMBUSTIBLE EN EL TRANSPORTE AÉREO EN MÉXICO

AÑO	NACIONAL		INTERNACIONAL		TOTAL	
	PJ	TONELADAS (T)	PJ	TONELADAS (T)	PJ	TONELADAS (T)
1990	55.803	1263631.822	16.066	363818.17	71.869	1627449.989
1991	59.035	1341908.056	15.526	352917.72	74.561	1694825.771
1992	67.682	1537914.464	15.621	354938.26	83.303	1892852.719
1993	73.385	1667498.21	14.891	338353.52	88.276	2005851.729
1994	80.957	1797603.216	17.875	396896.96	98.832	2194500.18
1995	73.936	1665242.322	17.592	396230.17	91.528	2061472.491
1996	72.214	1637613.29	18.862	427751.64	91.076	2065364.932
1997	77.349	1706621.935	20.632	455224.79	97.981	2161846.726
1998	84.962	1889198.947	23.157	514912.86	108.119	2404111.806
1999	90.603	2008935.725	23.791	527521.53	114.394	2536457.253
2000	90.628	2009502.666	24.479	542763.93	115.107	2552266.597
2001	91.658	2055190.613	21.358	478893.60	113.016	2534084.213
2002	87.843	1969638.345	21.045	471886.41	108.888	2441524.755

Fuente: Balance Nacional de Energía 2000 y 2003.

método de nivel 2b puede captar los efectos que los cambios en los factores de emisión pueden surtir en las emisiones de CH₄ y N₂O.

La selección de los métodos de estimación depende del detalle de los datos de actividad y de los factores de emisión disponibles en conformidad con los árboles de decisión aplicables tal y como lo señala la OBPGIINGEI del PICC. En el método de nivel 1 se utiliza una cifra calculada agregada de consumo de combustible para la aviación civil, multiplicada por factores de emisión medios. Se calcula un promedio de los factores de emisión correspondiente a todas las etapas del vuelo, suponiendo que el 10 % del combus-

tible (aunque este porcentaje puede variar dependiendo de las circunstancias nacionales) se usa en la etapa de aterrizaje y despegue del vuelo.

El método de nivel 2 a se aplica únicamente al uso de combustible en aviones de reacción. La gasolina de aviación (gas-avión) se utiliza solamente en aeronaves pequeñas y generalmente no rebasa el 1 % del consumo de combustibles en la aviación, siendo los querosenos (turbosina) el combustible principal. El método hace una distinción entre las emisiones por debajo y por encima de los 914 metros (3000 pies) debido a que los factores de emisión y los factores de uso de combustible varían según la etapa del vuelo.

El método de nivel 2a, es considerado como el idóneo de acuerdo a las Buenas Prácticas.

El factor de emisión de carbono para los querosenos, indicado en la tabla 1-1 del Manual de Referencia para la estimación de las emisiones de CO₂, es de 19.5 tC/TJ).

Los factores de emisión de los otros gases de efecto invernadero que se utilizaron para estimar las emisiones producidas por las aeronaves nacionales con motores a reacción, son los factores de emisión por defecto indicados en la tabla 1-52, página 1.98 del Manual de Referencia de las Directrices del PICC. En esa misma tabla se indican los factores por defecto para la aviación internacional tanto para los ciclos LTO como para la etapa de crucero, en ambos casos. Los valores de los factores de emisión para el ciclo LTO fueron los correspondientes a los de una flota promedio.

La Tabla 3.36 presenta los valores de los factores de emisión por defecto de CH₄, N₂O, CO, NO_x, y COVDM, para las etapas de ciclo LTO y crucero en la aviación nacional e internacional.

El factor de emisión promedio de SO₂ (13.5 kg/TJ) para los querosenos de aviación (turbosina) para el periodo 1990 – 2002, se calculó de forma separada, tomando en cuenta el contenido de azufre del combustible (% S) y su valor calorífico neto (VCN) convertido a unidades de TJ/kt.

3.4.2.3. Emisiones

Los motores de las aeronaves al igual que los motores de combustión interna de los vehículos, producen emisiones tanto de gases de efecto invernadero directo (CO₂, CH₄, N₂O), como de contaminantes del aire (CO, NO_x, COVDM), y dióxido de azufre (SO₂).

TABLA 3.36 CONSUMO DE COMBUSTIBLE Y FACTORES DE EMISIÓN POR DEFECTO PARA LA AVIACIÓN

Nacional						
<i>Flota promedio</i>		kg/LTO				
	<i>Consumo</i>	CH ₄	N ₂ O	NO _x	CO	COVDM
<i>Ciclo LTO</i>	850	0.3	0.1	10.2	8.1	2.6
kg/t						
<i>Crucero</i>		0	0.1	11	7	0.7
Internacional						
<i>Flota promedio</i>		kg/LTO				
	<i>Consumo</i>	CH ₄	N ₂ O	NO _x	CO	COVDM
<i>Ciclo LTO</i>	2500	1.5	0.2	41	50	15
kg/t						
<i>Crucero</i>		0	0.1	17	5	2.7

Fuente: Datos extraídos de la Tabla 1-52 de Manual de Referencia del PICC.

Las Partes en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC) aún no han adoptado una decisión definitiva con respecto a la inclusión de las emisiones procedentes de los combustibles utilizados en la aviación internacional y de los bunker marítimos internacionales, en los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. Por el momento, todas las emisiones procedentes de estos combustibles deben excluirse de los totales nacionales, y declararse por separado.

En la tabla 3.37 se presentan las emisiones anuales de gases de efecto invernadero y de precursores del ozono del transporte aéreo.

3.4.3. Transporte Marítimo [1A3d]

En esta categoría de fuentes se reportan todas las emisiones procedentes de la quema de los combustibles utilizados para la propulsión de las embarcaciones, incluyendo los aerodeslizadores y los hidroplanos. Las emisiones son de gases de efecto invernadero directo (CO_2 , CH_4 , y N_2O) y de gases precursores del ozono (CO , NO_x , COVDM , SO_2).

Las Partes en la CMNUCC aún no han adoptado una decisión definitiva en cuanto a la inclusión de las emisiones procedentes de los combustibles utilizados

en los bunker internacionales aéreos y marítimos, en los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. Por el momento estas emisiones al igual que aquellas de la aviación internacional, deben declararse por separado. En ambos casos los métodos para estimar las emisiones GEI y de otros gases precursores del ozono, son idénticos a los utilizados para calcular las emisiones en la aviación nacional como la navegación nacional.

3.4.3.1. Datos de Actividad

Los datos de consumo de combustibles para la navegación nacional, se presentan en la tabla 3.38, expresados en unidades de energía (PJ). Tomando en consideración el movimiento de carga registrado en puertos nacionales se estima que aproximadamente el 95% de los combustibles (diesel y combustóleo) reportados en el Balance Nacional de Energía para el transporte marítimo se asignan al transporte marítimo nacional el resto al transporte marítimo internacional.

3.4.3.2. Factores de Emisión.

Las emisiones de CO_2 se calculan utilizando el método sectorial, y para las emisiones de CH_4 , N_2O , CO ,

TABLA 3.37 EMISIONES GEI Y PRECURSORES DEL OZONO DEL TRANSPORTE AÉREO (Gg)

Año	CO_2	CH_4	N_2O	CO	NO_x	COVDM	SO_2
1990	4063.832	0.127	0.133	9.753	14.259	1.731	0.791
1991	4296.006	0.147	0.142	10.448	15.178	1.923	0.835
1992	4890.333	0.156	0.162	11.880	17.358	2.116	0.946
1993	5274.128	0.178	0.176	12.948	18.847	2.357	1.017
1994	5826.603	0.184	0.189	13.904	20.296	2.490	1.124
1995	5499.640	0.163	0.175	12.825	18.780	2.255	1.085
1996	5189.686	0.160	0.172	12.611	18.467	2.217	1.000
1997	5548.978	0.163	0.179	13.118	19.236	2.287	1.068
1998	6085.239	0.167	0.197	14.424	21.255	2.441	1.170
1999	6477.752	0.174	0.210	15.306	22.590	2.566	1.244
2000	6471.745	0.174	0.210	15.312	22.597	2.568	1.242
2001	6539.529	0.178	0.214	15.664	23.112	2.630	1.254
2002	6272.431	0.176	0.206	15.051	22.166	2.557	1.204

TABLA 3.38 CONSUMO DE COMBUSTIBLES EN TRANSPORTE MARÍTIMO NACIONAL (PJ)

AÑO	DIESEL NACIONAL	DIESEL DESULFURADO	DIESEL SIN	DIESEL TOTAL	COMBUSTÓLEO
1990	3.76	0.73	0.00	4.49	19.69
1991	9.28	2.00	0.00	11.28	16.70
1992	5.06	8.71	0.00	13.76	2.30
1993	0.06	2.26	9.10	11.43	1.68
1994	0.00	2.03	21.46	23.50	1.55
1995	0.00	0.00	21.60	21.60	1.33
1996	0.00	0.00	22.02	22.02	1.61
1997	0.00	0.00	23.98	23.98	1.64
1998	0.00	0.00	29.25	29.25	2.51
1999	0.00	0.00	39.55	39.55	8.01
2000	0.00	0.00	41.26	41.26	12.17
2001	0.00	0.00	35.15	35.15	7.69
2002	0.00	0.00	26.28	26.28	4.53

Fuente: Informe del Inventario del Sector Transporte; E. Mar; 30 Nov., 2005.

NO_x y COVDM, se utilizan los factores por defecto reportados en las tablas 1-7, 1-8, 1-9, 1-10, y 1-11 para el transporte marítimo (ver Tabla 3.39).

Los factores de emisión de SO₂ para los combustibles quemados en el transporte marítimo se calculan de forma separada, tomando en cuenta el contenido de azufre del combustible y su valor calorífico neto (ver Tabla 3.40).

3.4.3.3. Emisiones

Las emisiones de gases de efecto invernadero y de precursores del ozono del transporte marítimo para el periodo 1990 – 2002, en intervalos de dos años, se presentan en la Tabla 3.41.

3.4.4. Transporte Ferroviario [1A3c]

El sistema ferroviario fue el medio de transporte de pasajeros más importante durante la primera mitad del siglo XX, sin embargo a medida que se empezaron a utilizar otros medios de transporte, éste fue perdiendo competitividad en el de pasajeros. En 1990 se transportaron alrededor de 17 millones de pasajeros, durante el periodo 1990 – 2002 esta cifra decreció en

forma acelerada para situarse en el 2002 en 0.24 millones de pasajeros transportados. En 1996 se inició formalmente el proceso de modernización – privatización tendiente a eliminar el transporte de pasajeros, concentrándose al transporte de carga. En la actualidad es uno de los medios con mayor actividad entre las regiones norte y centro del país, asimismo es el tercer

TABLA 3.39 FACTORES DE EMISIÓN PARA TRANSPORTE MARÍTIMO (KG/TJ)

COMBUSTIBLE	CO	CH ₄	NO _x	N ₂ O	COVDM
Diesel	1000	5	1500	0.6	200

TABLA 3.40 FACTORES DE EMISIÓN DE SO₂ PARA TRANSPORTE MARÍTIMO (KG/TJ)

DIESEL	% P AZUFRE	F E (KG/TJ)
SIN	0.05	22.90
Desulfurado	0.5	228.99
Nacional	1	457.98

Datos tomados de la tabla 2.1.3, de la Sección 2 de este documento, página 64.

TABLA 3.41 EMISIONES GEI Y PRECURSORES DEL OZONO DEL TRANSPORTE MARÍTIMO (Gg)

Año	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO	NOx	COVDM	SO ₂
1990	1808.258	0.121	0.015	24.173	36.260	4.835	37.992
1991	2082.037	0.140	0.017	27.981	41.971	5.596	35.343
1992	1182.334	0.080	0.010	16.067	24.101	3.213	8.535
1993	964.239	0.066	0.008	13.108	19.663	2.622	3.837
1994	1839.652	0.125	0.015	25.050	37.575	5.010	3.804
1995	1683.900	0.115	0.014	22.932	34.397	4.586	2.933
1996	1735.452	0.118	0.014	23.628	35.442	4.726	3.455
1997	1881.062	0.128	0.015	25.613	38.419	5.123	3.549
1998	2333.520	0.159	0.019	31.762	47.643	6.352	5.282
1999	3502.048	0.238	0.029	47.561	71.342	9.512	15.605
2000	3950.635	0.267	0.032	53.427	80.140	10.685	23.269
2001	3159.351	0.214	0.026	42.843	64.265	8.569	15.001
2002	2284.920	0.154	0.018	30.806	46.209	6.161	8.981

medio de transporte de carga comercial entre México, Estados Unidos y Canadá, después del transporte marítimo y por carretera. El consumo de combustibles en el 2002 decreció un 20% al pasar de 26.649 PJ en 1990 a 21.267 PJ en el 2002.

La estimación de las emisiones de gases de efecto invernadero y de gases precursores del ozono, se realiza utilizando los factores de emisión por defecto

indicados en el Manual de Referencia del PICC, y el método de nivel 1.

3.4.4.1. Datos de Actividad

Los datos de consumos de combustibles del transporte ferroviario para el periodo 1990 – 2002 en intervalos de dos años, se presenta en la Tabla 3.42.

TABLA 3.42 CONSUMO DE COMBUSTIBLES EN EL TRANSPORTE FERROVIARIO (PJ)

AÑO	DIESEL NACIONAL	DIESEL DESULFURADO	DIESEL SIN	DIESEL
1990	22.31	4.34	0.00	26.65
1991	17.50	4.80	0.00	22.31
1992	8.26	14.23	0.00	22.49
1993	0.41	22.33	0.00	22.74
1994	0.00	16.81	8.79	25.60
1995	0.00	7.54	15.05	22.59
1996	0.00	2.32	21.87	24.19
1997	0.00	0.19	27.64	27.83
1998	0.00	0.00	23.24	23.24
1999	0.00	0.00	21.87	21.87
2000	0.00	0.00	22.55	22.55
2001	0.00	0.00	20.67	20.67
2002	0.00	0.00	21.27	21.27

Fuente: Informe del Inventario del Sector Transporte; E. Mar; 30 Nov., 2005.

3.4.4.2. Factores de Emisión

Las emisiones de CO₂ se deben calcular con el método sectorial. Los factores de emisión de CH₄, N₂O, CO, NO_x y COVDM, para el transporte ferroviario son los factores por defecto reportados en las tablas 1-7, 1-8, 1-9, 1-10, y 1-11 y que se resumen en la Tabla 3.43.

Al igual que el transporte marítimo, los factores de emisión de SO₂ para los combustibles quemados en el transporte ferroviario se calculan de forma separada, tomando en cuenta el contenido de azufre del combustible y su valor calorífico neto. Los valores se presentan en la Tabla 3.44.

3.4.4.3. Emisiones

Las emisiones de los gases de efecto invernadero y precursores del ozono, se estimaron siguiendo los mismos métodos utilizados para estimar las emisiones de los otros modos de transporte, utilizando los factores de emisión correspondientes (ver tablas 3.43, y 3.44). Las emisiones se presentan en la Tabla 3.45.

3.4.5. Resumen de Emisiones en el sector transporte [1A3, 1A3a, 1A3b, 1A3c, y 1A3d]

Las emisiones de gases de efecto invernadero y gases precursores del ozono, derivadas de la quema de com-

TABLA 3.43 FACTORES DE EMISIÓN PARA TRANSPORTE FERROVIARIO (KG/TJ)

COMBUSTIBLE	CO	CH ₄	NO _x	N ₂ O	COVDM
Diesel	1000	5	1200	0.6	200

Fuente: tablas 1-7, 1-8, 1-9, 1-10, y 1-11 del Manual de Referencia.

TABLA 3.44 FACTORES DE EMISIÓN DE SO₂ PARA LOS COMBUSTIBLES CONSUMIDOS EN EL TRANSPORTE FERROVIARIO

DIESEL	% P AZUFRE	F E (KG/TJ)
SIN	0.05	22.90
Desulfurado	0.5	228.99
Nacional	1	457.98

Datos tomados de la tabla 2.1.3, de la Sección 2 de este documento, página 64.

bustibles fósiles en el sector transporte de la Categoría de Energía, se presentan en la tabla 3.46, expresadas en unidades de gigagramos de gas (Gg), y en la tabla 3.47 se muestran las emisiones únicamente de los gases de efecto invernadero expresados en unidades de gigagramos de CO₂ equivalente.

TABLA 3.45 EMISIONES GEI Y PRECURSORES DEL OZONO DEL TRANSPORTE FERROVIARIO (Gg)

Año	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO	NO _x	COVDM	SO ₂
1990	1954.065	0.133	0.016	26.649	31.979	5.330	11.211
1991	1635.610	0.112	0.013	22.306	26.767	4.461	9.116
1992	1649.028	0.112	0.013	22.489	26.987	4.498	7.041
1993	1667.360	0.114	0.014	22.739	27.287	4.548	5.300
1994	1877.439	0.128	0.015	25.604	30.725	5.121	4.051
1995	1656.068	0.113	0.014	22.585	27.102	4.517	2.070
1996	1773.829	0.121	0.015	24.191	29.029	4.838	1.033
1997	2040.736	0.139	0.017	27.831	33.397	5.566	0.677
1998	1704.316	0.116	0.014	23.243	27.892	4.649	0.532
1999	1603.493	0.109	0.013	21.868	26.242	4.374	0.501
2000	1653.795	0.113	0.014	22.554	27.065	4.511	0.516
2001	1515.355	0.103	0.012	20.666	24.799	4.133	0.473
2002	1559.424	0.106	0.013	21.267	25.520	4.253	0.487

TABLA 3.46 EMISIONES GEI Y GASES PRECURSORES DEL OZONO DEL SECTOR TRANSPORTE EN EL PERIODO 1990 – 2002

Año	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO	NOx	COVDM	SO ₂
1990	87784.474	41.778	1.596	7057.842	645.933	724.248	227.931
1991	93710.858	44.960	1.712	7594.626	686.976	778.374	231.128
1992	94506.903	45.461	1.743	7667.587	678.784	784.792	172.483
1993	96720.125	45.041	2.037	7544.860	676.489	778.526	138.815
1994	101258.814	44.916	2.383	7472.521	704.489	779.917	115.089
1995	96130.929	42.956	2.405	7109.172	654.190	742.019	81.828
1996	97502.320	42.139	2.599	6932.431	659.531	730.502	65.442
1997	101588.996	42.022	2.965	6858.362	674.614	731.438	53.603
1998	104800.602	41.170	3.431	6632.140	674.659	718.288	51.306
1999	106142.488	39.132	3.731	6098.340	674.849	674.751	60.578
2000	110607.963	38.664	4.353	5835.430	674.639	661.025	69.480
2001	110471.649	36.816	4.890	5388.646	627.532	625.029	61.265
2002	111959.959	35.765	5.401	5068.987	595.990	602.341	55.971

La incertidumbre estimada en por ciento (%) para los factores de emisión, los datos de actividad y las emisiones de gases de efecto invernadero de las fuentes móviles de combustión fueron como se indica en la tabla 3.48 siguiente:

3.5. Emisiones Fugitivas de Metano en Minas de Carbón y en Petróleo y Gas Natural [1B]

Finalmente el grupo de las emisiones fugitivas (EF) de metano cubren todas aquellas emisiones de metano que se generan en las actividades antes, durante y después del minado del carbón, así como las registradas en la producción, transmisión, almacenamiento y distribución del petróleo y el gas natural.

En esta sección se indican las metodologías utilizadas para estimar las emisiones fugitivas de metano en la extracción y manipulación del carbón, y en las actividades del petróleo y el gas natural. También se incluyen las emisiones de CO₂ descargadas a la atmósfera durante la producción y procesamiento del gas natural y las emisiones de otros gases (CO, NOx, COVDM) considerados como precursores del ozono y el SO₂, todos ellos derivados de los varios procesos involucrados en la refinación del petróleo crudo.

TABLA 3.47 EMISIONES GEI DEL SECTOR TRANSPORTE, EN GG CO₂ EQUIVALENTE

Año	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	TOTAL
1990	87784.474	877.340	494.880	89156.694
1991	93710.858	944.161	530.862	95185.881
1992	94506.903	954.677	540.291	96001.871
1993	96720.125	945.868	631.375	98297.368
1994	101258.814	943.233	738.721	102940.769
1995	96130.929	902.084	745.551	97778.564
1996	97502.320	884.913	805.655	99192.888
1997	101588.996	882.465	919.102	103390.564
1998	104800.602	864.573	1063.666	106728.841
1999	106142.488	821.782	1156.708	108120.978
2000	110607.963	811.940	1349.440	112769.343
2001	110471.649	773.142	1516.012	112760.803
2002	111959.959	751.061	1674.260	114385.279

3.5.1. Minas de Carbón [1B1]

Aquí al igual que en las fuentes fijas de combustión y las fuentes móviles de combustión se recurre a los árboles de decisión para seleccionar el método más adecuado de estimación de las emisiones de metano para todas las fuentes de emisión en las minas de carbón.

En las Directrices del PICC se describen dos métodos para estimar las emisiones de metano, uno de

TABLA 3.48 DATOS DE INCERTIDUMBRE PARA LOS DATOS DE ACTIVIDAD, Y FACTORES DE EMISIÓN (%)

SECTOR	ACTIVIDAD (%)	FACTORES DE EMISIÓN (%)
Carretera (gasolina, diesel, GLP)	1.3; 1.3; 2.2	50, 6.7; 1.7; 5
Aviación	22.4	5
Marítimo	50	5

Nota: Los valores 1.3, 1.3, 2.2, corresponden respectivamente a las incertidumbres de los datos de actividad para la gasolina, diesel y gas licuado de petróleo, y los valores 6.7, 1.7, 5, corresponden a las incertidumbres de los factores de emisión para la gasolina, diesel y gas licuado de petróleo.

nivel 1 y otro de nivel 2. El método de nivel 1 o método por defecto, utiliza rangos de factores de emisión para el cálculo de las emisiones, los resultados evidentemente son altamente inciertos. El método de nivel 2, usa factores de emisión específicos de un país o de una cuenca tales que reflejan el contenido medio de metano del carbón que efectivamente se extrae. Para el caso de minas subterráneas, puede haber datos que se obtengan mediante mediciones reales. La utilización de estas mediciones reales se considera en general como un método de nivel 3, el cual no está descrito como tal en las Directrices del PICC.

El total de las emisiones anuales de metano se calcula sustrayendo de la suma de las emisiones de las minas subterráneas, minas a cielo abierto y de las operaciones posteriores a la extracción del mineral, la cantidad de metano recuperado y utilizado o quemado en antorcha.

Las actividades de extracción y procesamiento del carbón en México se ubican casi en su totalidad en la región norte del país, particularmente en el Estado de Coahuila. El carbón que se extrae es mayormente de grado bituminoso. La producción nacional se obtiene de 9 minas, 6 subterráneas y 3 a cielo abierto. Las emisiones fugitivas que se contabilizan en esta subcategoría de fuentes de emisiones, son las de gas metano (CH₄) que se producen antes, durante y después de las actividades de minado.

3.5.1.1. Datos de Actividad

Los datos de producción de carbón, se obtuvieron tanto de fuentes nacionales como internacionales. La

fuerza de información nacional, son las estadísticas de la Secretaría de Energía (SENER) disponibles a través de los Balances Nacionales de Energía. Los datos que se indican en los diagramas “Balance de carbón” en los Balances Nacionales de Energía, están expresados en unidades de peso, miles de toneladas (kt) y en unidades de energía Petajoules (PJ). El primer dato que aparece en el diagrama, se refiere a la producción como sale de la mina, (Run of mine, término en inglés) y se clasifica como carbón térmico (Steam, término en inglés) y carbón siderúrgico (Metallurgical, término en inglés). El diagrama muestra la secuencia de pasos seguidos desde la producción hasta el consumo final. La suma de los datos de la producción de carbón lavado tanto térmico como siderúrgico, es el dato oficial de producción de carbón que aparece en el cuadro “México balance nacional de energía” del mismo Balance Nacional de Energía.

La fuente de información internacional, son los reportes por país de los Anuarios de Minerales de la Revisión Geológica de los Estados Unidos (United States Geological Survey (USGS)). Los datos indicados en estos reportes se refieren a la producción como sale de la mina por tipo de carbón, térmico y siderúrgico, así como de la producción de carbón metalúrgico lavado, en unidades de peso, miles de toneladas métricas (kt). Las fuentes nacionales que abastecen de información a estos reportes, son las mismas que lo hacen para el Balance Nacional de Energía.

En México, más del 70% de la producción de carbón proviene de las minas subterráneas, el restante de las minas a cielo abierto. Toda la producción de car-

bón de las minas subterráneas es de tipo siderúrgico, mientras que el 60% de la producción de las minas a cielo abierto es de tipo siderúrgico y el 40% es de tipo térmico.

Con base en la información disponible sobre datos de actividad y factores de emisión por defecto, junto con la aplicación de los árboles de decisión correspondientes, se decidió utilizar el método de nivel 1 para el cálculo de las emisiones de metano.

En la Tabla 3.49, se presentan los datos de producción de carbón como sale de la mina y después del lavado, para el periodo 1990 – 2002.

3.5.1.2. Factores de Emisión

La estimación de las emisiones de metano en las actividades de minado y manipulación del carbón, se realiza utilizando el método de nivel 1 descrito en el Manual de Referencia en la sección 1.7 “Emisiones Fugitivas de Minado y Manipulación del Carbón”, páginas 1.99 – 1.113, junto con los factores de emisión por defecto incluidos en ella. La decisión de utilizar los

valores indicados en el cuadro 3.1.2, responde a la metodología de selección del método y de los factores de emisión correspondientes, aplicada a esta subcategoría de fuentes. Aunado a esto, la Orientación sobre las Buenas Prácticas y Gestión de la Incertidumbre en los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero (OBPGIINGEI) señala lo siguiente: Para las minas subterráneas, cuando se toma en cuenta la profundidad de las vetas carboníferas, y se utilice el método de nivel 1, se deberá elegir el extremo inferior del rango por defecto (10 – 25 m³/tonelada métrica) para las minas con profundidad media no mayor de 200 metros, mientras que para las minas con profundidad superior a los 400 metros se aplicara el extremo superior de rango. Para minas con profundidades intermedias se debe elegir un valor intermedio.

Para las minas a cielo abierto, se recomienda utilizar el valor inferior del rango (0.3 – 2.0 m³/tonelada métrica) para minas en las que el terreno de recubrimiento tiene una profundidad media de menos de 25 metros y el valor superior del rango para minas con una profundidad de terreno de recubrimiento mayor a los 50

TABLA 3.49 PRODUCCIÓN DE CARBÓN EN BRUTO Y TRATADO, EN MINAS SUBTERRÁNEAS Y A CIELO ABIERTO (KT)

AÑO	MINAS SUBTERRÁNEAS		MINAS A CIELO ABIERTO	
	CARBÓN EXTRAÍDO	CARBÓN TRATADO	CARBÓN EXTRAÍDO	CARBÓN TRATADO
1990	8322.000	5249.818	1688.000	1799.330
1991	7462.000	4690.751	1948.000	1808.540
1992	6676.000	4291.907	2024.000	1828.609
1993	7932.000	4654.183	2288.000	1959.664
1994	8922.000	5957.909	2510.000	2771.099
1995	8926.800	5979.457	2873.200	2889.483
1996	10300.600	6484.610	3446.400	3181.709
1997	9415.800	6391.644	3291.200	2996.408
1998	9362.600	6889.280	3026.400	3165.381
1999	9881.000	6974.391	3422.000	3351.293
2000	11121.000	7692.031	3166.000	3651.860
2001	9403.000	7656.191	2774.000	3689.657
2002	8881.800	7288.851	2523.200	3695.357

Fuente: The Minerals Industry of Mexico in 1994 - 2003.

metros. Con profundidades intermedias se podrá usar un valor intermedio. A falta de datos sobre el espesor del terreno de recubrimiento se recomienda como una buena practica, usar un factor de emisión cercano al extremo superior del rango 1.5 m³/tonelada métrica.

Por lo que concierne a las actividades posteriores a la extracción, se utilizan los valores inferiores de los rangos por defecto correspondientes (0.9 – 4.0 m³/tonelada métrica) para el carbón extraído de las minas subterráneas cuya profundidad media no rebasa los 200 metros y (0 – 0.2 m³/tonelada métrica) para el carbón extraído de las minas a cielo abierto. En la Tabla

3.50, se presentan los factores de emisión seleccionados que se usaron para el cálculo de las emisiones de metano en la extracción del carbón mineral de minas subterráneas y de minas a cielo abierto, así como para las emisiones de metano en las actividades posteriores a la extracción.

3.5.1.3. Emisiones

Las emisiones estimadas con ayuda del método de nivel 1 y los factores de emisión por defecto indicados en la Tabla 3.50, se presentan en la Tabla 3.51.

TABLA 3.50 FACTORES DE EMISIÓN POR DEFECTO PARA EL MINADO Y MANIPULACIÓN DEL CARBÓN (m³/t)

MINAS SUBTERRÁNEAS		MINAS A CIELO ABIERTO	
ACTIVIDADES DE EXTRACCIÓN	ACTIVIDADES POSTERIORES	ACTIVIDADES DE EXTRACCIÓN	ACTIVIDADES POSTERIORES
10.00	0.90	1.50	0

Fuente: Manual de Referencia del PICC

TABLA 3.51 EMISIONES FUGITIVAS DE METANO EN EL MINADO Y MANIPULACIÓN DEL CARBÓN (Gg)

AÑO	MINAS SUBTERRÁNEAS			MINAS A CIELO ABIERTO			GRAN TOTAL
	ACTIVIDADES DE EXTRACCIÓN	ACTIVIDADES POSTERIORES	TOTAL	ACTIVIDADES DE EXTRACCIÓN	ACTIVIDADES POSTERIORES	TOTAL	
1990	55.757	3.166	58.923	1.696	-	1.696	60.619
1991	49.995	2.829	52.824	1.958	-	1.958	54.782
1992	44.729	2.588	47.317	2.034	-	2.034	49.351
1993	53.144	2.806	55.951	2.299	-	2.299	58.250
1994	59.777	3.593	63.370	2.523	-	2.523	65.893
1995	59.810	3.606	63.415	2.888	-	2.888	66.303
1996	69.014	3.910	72.924	3.464	-	3.464	76.388
1997	63.086	3.854	66.940	3.308	-	3.308	70.248
1998	62.729	4.154	66.884	3.042	-	3.042	69.925
1999	66.203	4.206	70.408	3.439	-	3.439	73.847
2000	74.511	4.638	79.149	3.182	-	3.182	82.331
2001	63.000	4.617	67.617	2.788	-	2.788	70.405
2002	59.508	4.395	63.903	2.536	-	2.536	66.439

La incertidumbre estimada para los factores de emisión, los datos de actividad y las emisiones de metano en el minado y manipulación del carbón fueron como se indica en la Tabla 3.52.

La incertidumbre aquí reportada para los datos de actividad se derivó en función de la calidad de la información estadística tanto nacional como internacional sobre la producción del carbón en México. La incertidumbre total de las emisiones de metano en las actividades de minado es de 0.2%

3.5.2. Petróleo y Gas Natural [1B2]

Las emisiones fugitivas que se presentan en las actividades que se realizan en las industrias del petróleo y el gas natural, provienen de la explotación, la producción, la elaboración, el transporte y el uso del petróleo y el gas natural, así como de la quema del gas en antorchas. La cuantificación exacta de las emisiones de gases de efecto invernadero directo (CO₂, CH₄, y N₂O), es muy difícil. Esto se debe en parte a la diversidad y número de fuentes de emisiones potenciales, a la escasa disponibilidad de datos sobre las fuentes de emisiones, y a las amplias variaciones en el nivel de reducción de las emisiones en las varias estructuras de la industria en el mundo. En el Manual de Referencia de las Directrices revisadas 1996 del PICC sobre la elaboración de los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero en la sección 1.8 “Emisiones Fugitivas en las Actividades de Petróleo y Gas Natural”, páginas 1.114 – 1.145, se describen tres métodos para calcular las emisiones de metano. Los métodos de nivel 1 y nivel 3 se utilizan para calcular las emisiones de metano en las actividades de petróleo y gas natural, el método de nivel 1 usa factores de emisión agregados basados en la producción, derivados de rangos de factores de emisión por defecto asignados

a cinco regiones donde se ubican los países productores de petróleo y gas natural en el mundo, y el método de nivel 3 o método de abajo hacia arriba, el cual es una evaluación rigurosa específica de cada fuente que requiere inventarios detallados de infraestructura y de factores de emisión detallados de abajo hacia arriba. El tercero es un método de nivel 2 que calcula las emisiones de metano procedentes únicamente del petróleo.

La selección del método a utilizar depende de la cantidad, grado de detalle y calidad de información disponible tanto de datos de actividad como de factores de emisión de los segmentos de la industria implicados en este tipo de emisiones. Para el caso de México, la selección del método a utilizar continúa siendo el método de nivel 1 debido a que no se cuenta con la información detallada de los inventarios de componentes y equipos que requiere la metodología del nivel 3, tampoco se cuenta con información referente a algún estudio realizado en años anteriores, encaminado a obtener factores de emisión de metano para la industria del petróleo y gas. Finalmente aunque existen nuevos factores por defecto desarrollados con datos de Canadá y Estados Unidos y que están incluidos en la sección 2.7 “Emisiones Fugitivas Procedentes de las Actividades de Petróleo y Gas Natural” en el cuadro 2-16, página 2.92 de la Orientación de las Buenas Prácticas del PICC, su aplicación depende del nivel de detalle que se tenga en cuanto a la infraestructura involucrada en el transporte, almacenamiento y procesamiento del gas natural.

3.5.2.1. Datos de Actividad

En México, la industria productora de gas natural e hidrocarburos (PEMEX), tiene una estructura tal que todos los procesos necesarios para la extracción, pro-

TABLA 3.52 INCERTIDUMBRE EN EL MINADO Y MANIPULACIÓN DEL CARBÓN

INCERTIDUMBRE (%) EN	DATOS DE ACTIVIDAD	FACTORES DE EMISIÓN
Minado y manipulación del Carbón	10	50

ducción, transmisión, almacenamiento y distribución del petróleo y el gas natural, están incluidos e integrados en la secuencia operacional de la empresa.

La fuente de información oficial de los datos de actividad requeridos en la estimación de las emisiones fugitivas de esta subcategoría de fuentes de emisiones, es la Secretaría de Energía (SENER) a través del Balance Nacional de Energía, el Anuario Estadístico de Pemex, el Informe Estadístico de Labores de Pemex (antes Memorias de Labores de Pemex), y la Base de Datos Institucional (BDI) de Pemex.

Las emisiones fugitivas de las actividades de petróleo y gas natural además de las emisiones de metano (CH₄), también incluyen las emisiones fugitivas de precursores del ozono (CO, NO_x, COVDM) y el SO₂, así como las emisiones directas de CO₂ que son descargadas a la atmósfera en la producción y procesamiento del gas natural. La estimación de los precursores del ozono y del SO₂, se hace siguiendo las indicaciones dadas en el Manual de Referencia en la sección 1.89, página 1.132. Los datos de actividad requeridos para llevar a cabo las estimaciones de me-

tano y de los precursores del ozono se indican en la Tabla 3.53.

3.5.2.2. Factores de Emisión

En cuanto a los factores de emisión, el país no cuenta con factores propios por lo que se recomienda utilizar bien factores regionales o de algún otro país con una industria semejante, o los factores de emisión por defecto indicados en el Manual de Referencia de las Directrices del PICC. Los resultados de la aplicación del árbol de decisión correspondiente señalan que se debe optar por utilizar el método del nivel 1, que es el de mayor incertidumbre de los tres.

Los factores de emisión utilizados se presentan en la Tabla 3.54.

Los valores de los factores de emisión seleccionados para las actividades del petróleo y el gas natural, son los valores medios de los rangos por defecto de la tabla 1-58, indicados para la región Otros Países Exportadores de Petróleo en el Manual de Referencia de las Directrices del PICC, excepto los valores para

TABLA 3.53 DATOS DE ACTIVIDAD PARA LAS ACTIVIDADES DEL PETRÓLEO Y EL GAS NATURAL (PJ)

AÑO	PETRÓLEO			GAS NATURAL			
	PRODUCCIÓN	TRANSPORTE	ALMACENAMIENTO Y PROCESAMIENTO	PRODUCCIÓN	PROCESAMIENTO Y TRANSMISIÓN DISTRIBUCIÓN	FUGAS INDUSTRIALES	FUGAS RESIDENCIALES
1990	5573.458	2793.500	2750.114	1477.070	1037.440	1003.519	33.921
1991	5854.583	2994.635	2798.681	1421.659	1089.356	1053.028	36.328
1992	5844.317	2996.508	2799.005	1397.286	1087.830	1050.363	37.467
1993	5861.197	2931.476	2854.523	1492.194	1110.461	1070.308	40.153
1994	5755.278	2801.439	2906.633	1537.431	1179.286	1143.588	35.698
1995	5554.085	2769.403	2711.962	1513.676	1193.778	1162.442	31.336
1996	6079.177	3283.834	2708.357	1719.417	1248.728	1212.780	35.948
1997	6463.785	3680.582	2714.419	1771.151	1330.976	1295.786	35.190
1998	6562.912	3721.770	2816.868	1853.090	1432.567	1400.304	32.263
1999	6351.474	3395.336	2802.081	1878.766	1342.499	1316.914	25.585
2000	6619.787	3631.109	2775.712	1806.033	1480.570	1453.098	27.472
2001	6811.686	3725.494	2802.799	1751.501	1484.450	1454.738	29.712
2002	6798.978	3561.890	2817.260	1713.831	1482.624	1450.439	32.185

Fuente: Informe sobre la Actualización 2002 del Inventario Emisiones Fugitivas en Industria del Petróleo y Gas Natural; D. H. Cuatecontzi, Septiembre 2005.

TABLA 3.54 FACTORES DE EMISIÓN DE METANO PARA ACTIVIDADES DE PETRÓLEO Y GAS NATURAL (KG/PJ)

ACTIVIDAD	GAS	UNIDADES
	CH_4	KG/PJ
	Petróleo	
<i>Producción</i>	2650	<i>Petróleo producido</i>
<i>Transporte</i>	745	<i>Petróleo exportado</i>
<i>Refinación</i>	745	<i>Petróleo refinado</i>
<i>Almacenamiento</i>	135	<i>Petróleo refinado</i>
	Gas Natural	
<i>Producción</i>	71000	<i>Gas producido</i>
<i>Proc/Transmisión /Distribución</i>	118000	<i>Gas consumido</i>
<i>Otras fugas industriales</i>	87500	<i>Gas consumido</i>
<i>Otras fugas residenciales</i>	43500	<i>Gas consumido</i>
	Venteo/ Quema en Antorcha	
	758000	<i>Gas producido</i>

el Transporte de petróleo, el Procesamiento/Transmisión/Distribución del gas natural y del Venteo y Quema en antorcha, que son los valores inferiores de los rangos por defecto reportados en la tabla 1-58 de las Directrices del PICC. Una de las razones por las que se seleccionaron estos valores, es que la capacidad para manejar y tratar los volúmenes de petróleo y gas producidos, ha ido adecuándose en los últimos años por lo que ha habido una reducción moderada en los volúmenes de gas que se ventean o queman en antorcha. En cuanto a las emisiones de CO_2 , estas corresponden al gas que se ventea directamente a la atmósfera durante la producción y procesamiento del gas natural por lo que no se tiene un factor de emisión para este gas.

En la Tabla 3.55, se indican los factores de emisión por defecto para los precursores del ozono en la refinación del petróleo crudo.

3.5.2.3.Emisiones

Las emisiones fugitivas de metano se estimaron empleando el método de nivel 1 y los factores de emisión indicados en la Tabla 3.2.2. Los datos de las emisiones en el tiempo, se presentan en la Tabla 3.56.

La reducción mostrada en las emisiones de metano en el rubro Venteo/Quema en antorcha, de 1999 a el

TABLA 3.55 FACTORES DE EMISIÓN DE LOS PRECURSORES DEL OZONO DE LA REFINACIÓN DEL PETRÓLEO (KG/M³ DE PETRÓLEO REFINADO)

	CO	NO _x	COVDM	SO ₂
Refinación	0.08	0.05	0.53	0.80

Fuente: Tabla 1-65, sección 1.8.9 "Refinerías" del Manual de Referencia.

TABLA 3.56 EMISIONES DE METANO EN LAS ACTIVIDADES DEL PETRÓLEO Y GAS NATURAL (GG)

AÑO	PETRÓLEO				GAS NATURAL					
	PRODUCCIÓN	TRANSPORTE	REFINACIÓN	ALMACENAMIENTO	PRODUCCIÓN	PROCESAMIENTO TRANSMISIÓN DISTRIBUCIÓN	FUGAS INDUSTRIALES	FUGAS RESIDENCIALES	VENTEO, QUEMA EN ANTORCHA	TOTAL
1990	14.770	2.081	2.049	0.371	104.872	122.418	87.808	1.476	1119.619	1455
1991	15.515	2.231	2.085	0.378	100.938	128.544	92.140	1.580	1077.618	1421
1992	15.487	2.232	2.085	0.378	99.207	128.364	91.907	1.630	1059.143	1400
1993	15.532	2.184	2.127	0.385	105.946	131.034	93.652	1.747	1131.083	1484
1994	15.251	2.087	2.165	0.392	109.158	139.156	100.064	1.553	1165.373	1535
1995	14.718	2.063	2.020	0.366	107.471	140.866	101.714	1.363	1147.366	1518
1996	16.110	2.446	2.018	0.366	122.079	147.350	106.118	1.564	1303.318	1701
1997	17.129	2.742	2.022	0.366	125.752	157.055	113.381	1.531	1342.532	1763
1998	17.392	2.773	2.099	0.380	131.569	169.043	122.527	1.403	1404.642	1852
1999	16.831	2.530	2.088	0.378	133.392	158.415	115.230	1.113	1424.105	1854
2000	17.542	2.705	2.068	0.375	128.228	174.707	127.146	1.195	1368.973	1823
2001	18.051	2.775	2.088	0.378	124.357	175.165	127.290	1.292	1327.638	1779
2002	18.017	2.654	2.099	0.380	121.682	174.950	126.913	1.400	1299.084	1747

2002 se debe a que el gas asociado se aprovechó más con la instalación de compresores de mayor capacidad en la región marina.

En la Tabla 3.57, se presentan las emisiones de metano en Gg de CO₂ equivalente para las actividades de petróleo y gas natural.

La incertidumbre estimada para los factores de emisión, los datos de actividad y las emisiones de me-

tano en las actividades del petróleo y el gas natural fueron como se indica en la Tabla 3.58.

La incertidumbre aquí reportada para los datos de actividad se derivó en función de la calidad de la información estadística tanto nacional como internacional sobre la producción, transporte, almacenamiento y distribución de petróleo y gas natural en México. La incertidumbre total de las emisiones de

TABLA 3.57 EMISIONES DE METANO EN ACTIVIDADES DE PETRÓLEO Y GAS NATURAL, EXPRESADAS EN GG DE CO₂ EQUIVALENTE

AÑO	PETRÓLEO				GAS NATURAL					
	PRODUCCIÓN	TRANSPORTE	REFINACIÓN	ALMACENAMIENTO	PRODUCCIÓN	PROCESAMIENTO TRANSMISIÓN DISTRIBUCIÓN	OTRAS FUGAS INDUSTRIALES	OTRAS FUGAS RESIDENCIALES	VENTEO, QUEMA EN ANTORCHA	TOTAL
1990	14.770	2.081	2.049	0.371	104.872	122.418	87.808	1.476	1119.619	1455
1990	310.16	43.70	43.03	7.80	2202.31	2570.78	1843.97	30.99	23512.00	30564.73
1991	325.81	46.85	43.79	7.93	2119.69	2699.42	1934.94	33.19	22629.97	29841.59
1992	325.24	46.88	43.79	7.94	2083.35	2695.64	1930.04	34.23	22242.00	29409.11
1993	326.18	45.86	44.66	8.09	2224.86	2751.72	1966.69	36.68	23752.74	31157.49
1994	320.28	43.83	45.47	8.24	2292.31	2922.27	2101.34	32.61	24472.83	32239.18
1995	309.08	43.33	42.43	7.69	2256.89	2958.18	2135.99	28.63	24094.69	31876.91
1996	338.31	51.38	42.37	7.68	2563.65	3094.35	2228.48	32.84	27369.68	35728.73
1997	359.71	57.58	42.47	7.70	2640.79	3298.16	2381.01	32.15	28193.18	37012.73
1998	365.23	58.23	44.07	7.99	2762.96	3549.90	2573.06	29.47	29497.49	38888.38
1999	353.46	53.12	43.84	7.94	2801.24	3326.71	2419.83	23.37	29906.20	38935.71
2000	368.39	56.81	43.43	7.87	2692.80	3668.85	2670.07	25.10	28748.43	38281.74
2001	379.07	58.29	43.85	7.95	2611.49	3678.47	2673.08	27.14	27880.39	37359.72
2002	378.36	55.73	44.08	7.99	2555.32	3673.94	2665.18	29.40	27280.76	36690.76

TABLA 3.58 INCERTIDUMBRE EN LAS ACTIVIDADES Y FACTORES DE EMISIÓN DE PETRÓLEO Y GAS NATURAL

INCERTIDUMBRE (%) EN	DATOS DE ACTIVIDAD	FACTORES DE EMISIÓN
Actividades de Petróleo y Gas Natural	10	50

Fuente: Anexo 1 de la sección Instrucciones para el Reporte de las Directrices del PICC sobre la elaboración de los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero.

metano en las actividades de petróleo y gas natural es de 4.14%.

En la Tabla 3.59, se presentan las emisiones fugitivas de precursores del ozono en la refinación del petróleo crudo.

3.5.3. Resumen de Emisiones Fugitivas en Minas de Carbón y en Petróleo y Gas Natural [1B1 y 1B2]

En las Tablas 3.60, y 3.61, se presentan las emisiones fugitivas de metano, en (Gg) y en (Gg de CO₂ equivalente), de las minas de carbón y del petróleo y gas natural.

Las incertidumbres asociadas a las emisiones fugitivas de metano en las actividades de minado y ma-

nipulación del carbón, así como las de las actividades de petróleo y gas natural se tomaron de la tabla A1-1 de las Directrices del PICC. Esa tabla indica que la incertidumbre asociada a los factores de emisión utilizados en actividades de minado y manipulación del carbón, así como las de las actividades de petróleo y gas natural es de 55%, y la incertidumbre en los datos de actividad es de 10 al 20% dependiendo de la exactitud de ellos.

La incertidumbre global de las emisiones fugitivas de metano en las actividades de minado y manipulación del carbón, así como las actividades del petróleo y gas natural es 4.15%.

3.6. Resumen de las Emisiones de Gases de Efecto Invernadero y Precursores del Ozono en la Categoría de Energía [1]

En la Tabla 3.62, se presentan las emisiones de gases de efecto invernadero y de precursores del ozono que se generaron en la Categoría de Energía, expresadas en gigagramos de gas. En la tabla 3.63, se presentan las emisiones de los gases de efecto invernadero de la Categoría de Energía en Gigagramos de CO₂ equivalente.

3.7. Emisiones del Transporte Internacional Aéreo y Marítimo.

En esta parte del documento se presentan los datos referentes a los consumos de combustibles para el transporte aéreo y marítimo internacional. Aunque no es un requisito incluir esta información dentro del inventario nacional de gases de efecto invernadero, se indican aquí como referencia.

TABLA 3.59 EMISIONES FUGITIVAS DE PRECURSORES DEL OZONO EN LA REFINACIÓN DEL PETRÓLEO (Gg)

Año	CO	NOx	COVDM	SO ₂
1990	5.84	3.65	38.67	58.37
1991	5.94	3.71	39.34	59.39
1992	5.95	3.72	39.40	59.47
1993	6.04	3.78	40.04	60.44
1994	6.30	3.93	41.71	62.96
1995	5.93	3.71	39.30	59.33
1996	5.93	3.70	39.27	59.28
1997	5.89	3.68	39.03	58.92
1998	6.12	3.82	40.53	61.18
1999	5.95	3.72	39.43	59.52
2000	5.88	3.67	38.95	58.79
2001	5.97	3.73	39.57	59.73
2002	6.11	3.82	40.49	61.12

TABLA 3.60 EMISIONES FUGITIVAS DE METANO EN MINAS DE CARBÓN Y EN PETRÓLEO Y GAS NATURAL, (Gg)

AÑO	CH ₄					TOTAL	CO ₂
	MINAS SUBTERRÁNEAS	MINAS A CIELO ABIERTO	PETRÓLEO	GAS NATURAL	VENTEO / QUEMADO EN ANTORCHA		GAS NATURAL
1990	58.92	1.70	19.27	316.57	1119.62	1516.08	325.73
1991	52.82	1.96	20.21	323.20	1077.62	1475.81	325.73
1992	47.32	2.03	20.18	321.11	1059.14	1449.78	344.89
1993	55.95	2.30	20.23	332.38	1131.08	1541.94	287.41
1994	63.37	2.52	19.90	349.93	1165.37	1601.09	344.89
1995	63.42	2.89	19.17	351.41	1147.37	1584.25	325.73
1996	72.92	3.46	20.94	377.11	1303.32	1777.76	900.56
1997	66.94	3.31	22.26	397.72	1342.53	1832.76	2011.88
1998	66.88	3.04	22.64	424.54	1404.64	1921.75	2011.88
1999	70.41	3.44	21.83	408.15	1424.10	1927.93	1935.24
2000	79.15	3.18	22.69	431.28	1368.97	1905.27	1820.27
2001	67.62	2.79	23.29	428.10	1327.64	1849.44	1494.54
2002	63.90	2.54	23.15	424.95	1299.08	1813.62	996.36

TABLA 3.61 EMISIONES FUGITIVAS DE METANO EN MINAS DE CARBÓN Y EN PETRÓLEO Y GAS NATURAL (Gg CO₂ EQUIVALENTE)

AÑO	CH ₄			GAS NATURAL	TOTAL
	MINAS	PETRÓLEO Y GAS NATURAL	VENTEO / QUEMADO EN ANTORCHA		
1990	1273.01	7052.73	23512.00	325.73	32163.47
1991	1150.41	7211.62	22629.97	325.73	31317.74
1992	1036.38	7167.11	22242.00	344.89	30790.38
1993	1223.26	7404.74	23752.74	287.41	32668.16
1994	1383.74	7766.36	24472.83	344.89	33967.82
1995	1392.36	7782.21	24094.69	325.73	33595.00
1996	1604.15	8359.05	27369.68	900.56	38233.43
1997	1475.20	8819.55	28193.18	2011.88	40499.82
1998	1468.43	9390.90	29497.49	2011.88	42368.69
1999	1550.79	9029.52	29906.20	1935.24	42421.75
2000	1728.95	9533.31	28748.43	1820.27	41830.96
2001	1478.50	9479.33	27880.39	1494.54	40332.76
2002	1395.22	9410.00	27280.76	996.36	39082.34

TABLA 3.62 EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO Y PRECURSORES DEL OZONO DE LA CATEGORÍA DE ENERGÍA (Gg)

Año	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO	NOx	COVDM	SO ₂
1990	276489.848	1636.010	3.762	8640.238	1235.882	935.389	2605.387
1991	285813.239	1599.673	3.938	9234.594	1287.380	992.445	2498.564
1992	287518.312	1574.704	3.973	9290.524	1283.332	999.944	2419.753
1993	284122.237	1667.331	4.336	9217.431	1280.832	995.490	2398.267
1994	305152.361	1726.776	4.733	9090.618	1353.481	999.341	2678.643
1995	287825.129	1708.606	4.789	8782.759	1272.790	960.406	2633.325
1996	307888.568	1902.156	5.090	8619.686	1338.863	952.112	2525.556
1997	325871.606	1957.832	5.540	8594.182	1410.449	956.200	2702.547
1998	349233.015	2046.911	6.095	8390.321	1455.468	946.762	2885.697
1999	334974.213	2049.679	6.306	7839.558	1434.849	903.377	2762.189
2000	353867.928	2026.675	6.945	7572.191	1482.455	890.637	4573.922
2001	348866.883	1969.200	7.534	7145.815	1420.448	855.089	2784.755
2002	346361.314	1932.433	8.069	6822.365	1406.769	834.140	2510.205

TABLA 3.63 EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO DE LA CATEGORÍA DE ENERGÍA, EN UNIDADES DE (Gg DE CO₂ EQUIVALENTE)

Año	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	TOTAL
1990	276489.848	34356.214	1166.205	312012.268
1991	285813.239	33593.130	1220.661	320627.031
1992	287518.312	33068.789	1231.577	321818.677
1993	284122.237	35013.947	1344.110	320480.294
1994	305152.361	36262.294	1467.277	342881.932
1995	287825.129	35880.717	1484.687	325190.534
1996	307888.568	39945.272	1578.021	349411.861
1997	325871.606	41114.466	1717.347	368703.419
1998	349233.015	42985.125	1889.309	394107.449
1999	334974.213	43043.267	1954.735	379972.216
2000	353867.928	42560.181	2153.056	398581.165
2001	348866.883	41353.197	2335.643	392555.722
2002	346361.314	40581.091	2501.364	389443.769

TABLA 3.64 CONSUMO DE COMBUSTIBLES EN TRANSPORTE
AÉREO Y MARÍTIMO INTERNACIONAL (PJ)

AÑO	QUEROSENO	DIESEL	COMBUSTÓLEO	TOTAL
1990	16.066	0.229	1.006	17.301
1991	15.526	0.576	0.853	16.955
1992	15.621	0.703	0.118	16.441
1993	14.891	0.584	0.086	15.560
1994	17.875	1.964	0.130	19.968
1995	17.592	1.111	0.068	18.772
1996	18.862	0.959	0.070	19.892
1997	20.632	0.755	0.051	21.438
1998	23.157	1.494	0.128	24.779
1999	23.791	2.020	0.409	26.221
2000	24.479	2.107	0.622	27.208
2001	21.358	1.563	0.342	23.263
2002	21.045	1.135	0.196	22.376

En la Tabla 3.64 se muestran los datos de consumo anual de combustibles para el transporte aéreo y marítimo internacional.

En la Tabla 3.65 se muestran las emisiones del transporte aéreo y marítimo internacional.

3.8. Análisis de Incertidumbre en la Categoría de Energía

La incertidumbre en los factores de emisión y en los datos de actividad debe determinarse para cada categoría de fuente y para cada combustible, las cuales pueden combinarse para estimar la incertidumbre del inventario y la incertidumbre en la tendencia general del inventario a través del tiempo como lo indica la Guía de las Buenas Prácticas.

3.8.1. Fuentes Fijas de Combustión

Existen distintos métodos para evaluar la incertidumbre en las estimaciones de las emisiones en los inventarios nacionales. En el caso de las fuentes fijas se utilizó el método de nivel 1 descrito en la sección 6.3.2. *Estimación de las incertidumbre por categoría de fuentes con supuestos simplificadores* de la Guía de las Buenas Prácticas y el cual estima (a) la incertidumbre para cada categoría de fuente usando una ecuación de propagación de errores y (b) la incertidumbre general para un año dado y la incertidumbre en la tendencia de las emisiones usando una combi-

TABLA 3.65 EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO Y PRECURSORES DEL OZONO EN BUNKER INTERNACIONAL (Gg)

AÑO	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	NO _x	CO	COVDM	SO ₂
1990	1229.620	0.188	0.031	7.855	7.610	2.232	2.157
1991	1205.350	0.201	0.030	7.950	8.031	2.303	2.015
1992	1166.090	0.184	0.030	7.086	7.082	2.109	0.647
1993	1103.290	0.184	0.028	6.576	6.876	2.041	0.393
1994	1419.020	0.214	0.034	9.684	9.164	2.609	0.559
1995	1331.870	0.200	0.034	8.311	8.009	2.372	0.388
1996	1410.770	0.214	0.036	8.606	8.396	2.511	0.405
1997	1519.640	0.222	0.039	8.730	8.532	2.589	0.390
1998	1758.350	0.236	0.045	10.959	9.899	2.969	0.582
1999	1862.940	0.240	0.047	12.384	10.763	3.163	1.118
2000	1933.950	0.248	0.048	13.086	11.308	3.302	1.519
2001	1652.120	0.217	0.042	10.791	9.493	2.817	0.951
2002	1587.640	0.218	0.041	9.807	8.970	2.702	0.669

nación simple de las incertidumbres por categoría de fuentes.

La estimación de la incertidumbre se hace con ayuda del cuadro 6.1, “Cálculo y presentación de la incertidumbre en el nivel 1”, de la sección 6.3.2 Nivel 1 – Estimación de las incertidumbres por categoría de fuentes con supuestos simplificadores, de la Orientación de las Buenas Prácticas del PICC, desarrollado en una hoja de cálculo.

3.8.1.1. Datos de Actividad

La incertidumbre de los datos de actividad tiene que ver la cobertura estadística completa, de todas las categorías de fuentes y de todos los combustibles.

Para la estimación de la incertidumbre de los datos de actividad se hizo uso del cuadro 2.6, “Grado de incertidumbre asociada a los datos de actividad de las fuentes fijas de combustión”, reportado en la página 2.43 de la Orientación de las Buenas Prácticas del PICC. Los valores específicos empleados se muestran en la Tabla 3.66. Se considera que el Balance Nacional de Energía de México, es un sistema estadístico avanzado cuya publicación se ha mantenido constante varias décadas, la recopilación de la información sobre la producción, procesamiento, y utilización de la energía se realiza a través de encuestas, por lo que hace a este sistema una fuente de información confiable.

Cabe hacer mención que para el caso de la biomasa se utilizó un valor de 30% en el sector industrial, y un valor de 60% en el sector residencial, por considerarse

que el consumo de leña en el sector residencial tiene un grado mayor de incertidumbre que el uso de bagazo en el sector industrial.

3.8.1.2. Factores de Emisión

La incertidumbre en los factores de emisión para el CO₂ se tomó de la sección 2.1.1.6. *Evaluación de la incertidumbre de la Orientación de las Buenas Prácticas*, que recomienda usar un valor de 5% o inferior para los combustibles comercializados. No se tomó en cuenta la incertidumbre relacionada con los factores de carbono almacenado o los factores de oxidación del carbono por carecerse de datos al respecto.

Para el caso de los gases distintos al CO₂, se tomaron los valores medios de los rangos de incertidumbre por defecto para el CH₄ y el N₂O presentados en el cuadro 2.5, página 2.43 de la sección 2.2.1.6. “Evaluación de la incertidumbre”, parte 2.2 “Emisiones de Gases Distintos del CO₂ Procedentes de Fuentes Fijas de Combustión” de la Orientación de las Buenas Prácticas, los cuales se presentan en la Tabla 3.67.

Cabe mencionar que para el sector agropecuario no se declaran valores por defecto para la incertidumbre, sin embargo se utilizaron los valores correspondientes a los demás sectores con el fin de no tener espacios en blanco en la estimación de la incertidumbre. La otra opción es simplemente ignorar la incertidumbre correspondiente a este sector.

Los valores tan altos de incertidumbre para los factores de emisión de N₂O corresponden a diez veces el valor medio del rango para el factor de emisión de

TABLA 3.66 GRADO DE INCERTIDUMBRE ASOCIADA A LOS DATOS DE ACTIVIDAD DE LAS FUENTES FIJAS DE COMBUSTIÓN

DATOS DE ACTIVIDAD	INCERTIDUMBRE (%)
Electricidad Pública	1
Combustión Comercial/Institucional y Residencial	5
Combustión Industrial	3
Biomasa en fuentes pequeñas (Industrial, Residencial).	(30, 60)

Fuente: cuadro 2.6, “Grado de incertidumbre asociada a los datos de actividad de las fuentes fijas de combustión”, reportado en la página 2.43 de la Orientación de las Buenas Prácticas del PICC.

TABLA 3.67 GRADO DE INCERTIDUMBRE DE LOS FACTORES DE EMISIÓN DE LOS GASES DISTINTOS AL CO₂ DE LAS FUENTES FIJAS DE COMBUSTIÓN

FUENTES FIJAS DE COMBUSTIÓN. FACTORES DE EMISIÓN	INCERTIDUMBRE (%)	
	CH ₄	N ₂ O
Electricidad Pública	100	1000
Combustión Comercial/Institucional y Residencial	100	1000
Combustión Industrial	100	1000
Agropecuario	100	1000

CH₄, tal y como lo indica la tabla 2.5 del Manual de Referencia del PICC.

3.8.2. Transporte

Como se mencionó anteriormente la Orientación de las Buenas Prácticas del PICC señala dos fuentes primarias de incertidumbre a determinar de manera independiente, la incertidumbre asociada a los factores de emisión y la incertidumbre asociada a los datos de actividad usados para el cálculo.

El análisis de la incertidumbre de las fuentes móviles de combustión se realiza por categoría agregada de fuentes, tal y como lo propone la misma Orientación de las Buenas Prácticas, debido a que la incertidumbre del Inventario de emisiones se calculará utilizando el método de nivel 1.

El documento denominado “Aspectos Metodológicos del Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero INEGEI 2002” de fecha junio de 2005 propone que las incertidumbres se calculen adicionalmente por tipo de combustible para el sector 1A (Sector de la Energía).

3.8.2.1. Datos de Actividad.

En el documento “Aspectos Metodológicos INEGEI 2002”, se señala que la incertidumbre asociada a los datos de actividad del transporte, debe documentarse, en específico, los ciclos LTO en la aviación, los VKT de vehículos que circulan por carretera y el consumo de combustible de embarcaciones náuticas. En los

siguientes párrafos se documenta la incertidumbre para:

1. Emisiones de CO₂ del Transporte Automotor por consumo de Gasolina
2. Emisiones de CO₂ del Transporte Automotor por consumo de Diesel
3. Emisiones de CO₂ del Transporte Aéreo Nacional
4. Emisiones de CO₂ del Transporte Automotor por consumo de GLP.
5. Emisiones de CO₂ del Transporte Marítimo Nacional
6. Emisiones de N₂O del Transporte Automotor por consumo de Gasolina

Incertidumbre asociada a la emisión de CO₂ en el Transporte por Carretera

La Guía de las Buenas Prácticas del PICC señala que un dictamen de expertos, sugiere que la incertidumbre en la estimación del CO₂ es de aproximadamente ±5%, siendo la fuente primaria de incertidumbre los datos de actividad, más que los factores de emisión.

Las Directrices del PICC y la Orientación de las Buenas Prácticas señalan que las emisiones de CO₂ deben ser calculadas por el método sectorial.

Los datos de los combustibles, provienen del Balance Nacional de Energía, que a su vez los obtiene de PEMEX. Debido a que las diferencias entre el consumo real de gasolina utilizado por el transporte por carretera y la cifras reportadas en el BNE, fluctúan entre 1.0% y 1.3%, se consideró que una incertidumbre de

1.3% para el consumo de gasolina del Transporte Automotor es razonable (ver Documento del Inventario de Emisiones del Sector Transporte 30 Nov. 2005, de E. Mar). Sin embargo, esta incertidumbre significa una variación de alrededor de 13 PJ en la demanda de gasolinas, que representa una cifra mayor que el consumo de energía en el transporte eléctrico del país.

Respecto al consumo de Diesel y Gas licuado, la diferencia entre el consumo de Diesel y Gas licuado calculado mediante la metodología Nivel-2 y los valores reportados para la demanda de ambos combustibles en el Balance Nacional de Energía se encontraron en los rangos entre 0.01% y 1.26% para el Diesel y entre 0.43% y 2.15% para el Gas licuado. Se determinó que una incertidumbre de 1.3% para el Diesel y de 2.2% para el Gas licuado serían adecuadas (ver Documento del Inventario de Emisiones del Sector Transporte 30 de Nov. 2005, de E. Mar).

3.8.2.2. Factores de Emisión.

Los factores de emisión, en el caso de la Gasolina y del Diesel fueron los factores por defecto del PICC. Para el Gas LP, se utilizó un factor específico del país de acuerdo a la composición local de este combustible. Al comparar los valores de CO₂ para los vehículos a Gasolina obtenidos por el método Nivel-2 y los del método sectorial, se encontraron diferencias entre 5% y 7%. Por ello, la incertidumbre respecto al factor de emisión para vehículos a gasolina es de 7%.

Con respecto a los vehículos a Diesel, las diferencias fueron entre 0.2% y 1.7%, por lo que la incertidumbre en los factores de emisión se fijó en 1.7%. Para el Gas LP, no se tiene forma de determinar un valor apropiado de incertidumbre por lo que se toma la incertidumbre por defecto de 5%.

Incertidumbre asociada a la emisión de N₂O en el Transporte por Carretera

La emisión de N₂O depende de las características tecnológicas del vehículo, principalmente si cuenta con convertidor catalítico de tres vías y el estado del mismo.

Contar con una adecuada caracterización y composición del parque vehicular existente, es importante para cuantificar la incertidumbre de las emisiones de N₂O. La cuantificación se realiza de acuerdo a la tasa de mortalidad del parque, en este caso se estima sea del 5%.

Los factores de emisión usados son los valores por defecto del PICC, por lo que se considera como adecuado un valor de incertidumbre de 50% como se señala en las Buenas Prácticas.

Incertidumbre asociada a la emisión de CO₂ en el Transporte Aéreo y Marítimo Nacionales.

La principal fuente de incertidumbre en la actividad de ambos sectores es la separación adecuada de lo que se considera consumo energético nacional y consumo energético internacional como lo señalan las buenas prácticas. Para el transporte aéreo, la incertidumbre se puede estimar más fácilmente debido a que se cuenta con datos fiables respecto al consumo de jet queroseno (turbosina) y el número de operaciones nacionales. Este tipo de operaciones concuerdan con la definición del PICC respecto a Transporte Aéreo Nacional ya que incluye operaciones tanto de compañías nacionales como de extranjeras y el origen y destino se encuentran en territorio nacional.

El límite superior de la incertidumbre es el porcentaje de operaciones internacionales en relación a las totales. Este dato ha variado en el periodo 1990-2002 entre 18.1% y 22.4%. Se toma el último valor como la incertidumbre de la actividad.

En el caso del transporte marítimo nacional, la incertidumbre debida a la actividad debe ser considerable tomando en cuenta la inexistencia de una correlación entre tráfico nacional o internacional y consumo de energía; adicionalmente se tiene la falta de confianza respecto a las estadísticas de consumo energético. El Inventario de Emisiones de España, le otorga una incertidumbre del 50% a la actividad de esta categoría de fuentes y a falta de una mejor opción es la que aquí se usa.

Para los factores de emisión de CO₂ se establece el valor por defecto propuesto por el PICC, es decir 5%

para el transporte aéreo y el transporte marítimo nacional.

3.8.2.3. Incertidumbres del sector transporte.

La agrupación de todos los valores de incertidumbre se presenta en la Tabla 3.68.

3.8.3. Emisiones Fugitivas en Minas de Carbón y Actividades del Petróleo y Gas Natural

En la *Guía de las Buenas Prácticas*, en la sección 2.6.1.6 “Evaluación de la Incertidumbre” menciona lo siguiente: (1) las emisiones de metano de las minas subterráneas adolecen de una variabilidad natural considerable. Las mediciones de concentración de metano en el aire de ventilación dependiendo del equipo utilizado pueden ser exactas en un $\pm 20\%$. La repetición de las mediciones pueden reducir de manera significativa la incertidumbre de las mediciones anuales a un $\pm 5\%$ cuando hay una vigilancia continua y a un ± 10 o 15% cuando las mediciones se realizan cada dos semanas. Para el caso de México, se considera que el error asociado a las mediciones de la concentración de metano en el aire de ventilación de las minas es un $\pm 20\%$ en promedio.

Las mediciones de concentración de metano en el gas extraído de los sistemas de desgasificación proba-

blemente tienen una exactitud de $\pm 2\%$ debido a que la concentración es mayor. Las mediciones deben hacerse con una frecuencia comparable a las del aire de ventilación para obtener un muestreo representativo. Para el caso de México, no se conoce el dato.

Por lo que se refiere a las actividades de la industria del petróleo y el gas natural, dada su complejidad, resulta difícil de cuantificar las incertidumbres netas en el conjunto de los inventarios, los factores de emisión y los datos de actividad.

Como se menciona en las Guías de las Buenas Prácticas. Sobre la producción de carbón, es probable que el tonelaje se conozca con un margen de error de 1 a 2%, pero si no se dispone de datos sobre el carbón en bruto, la incertidumbre aumentara aproximadamente en $\pm 5\%$ cuando se hace la conversión de los datos de producción a carbón vendible. Otro parámetro que influye en los datos es el contenido de humedad que suele ser de entre 5 y 10% y no puede determinarse con gran exactitud.

En el anexo 1 de las Directrices del PICC se indica en la tabla A1-1 las incertidumbres asociadas a los factores de emisión y los datos de actividad para las diferentes categorías incluidas en el inventario nacional. En esa tabla se indica que la incertidumbre asociada a los factores de emisión utilizados en las actividades de minado del carbón es de 55%, mientras que la incertidumbre para los datos de actividad es de 20%, este porcentaje se puede reducir dependiendo de la calidad

TABLA 3.68 DATOS DE ENTRADA PARA CALCULAR LA INCERTIDUMBRE EN TRANSPORTE POR MÉTODO DE NIVEL 1

CATEGORÍA DE FUENTES DEL PICC	GEI	EMISIONES		INCERTIDUMBRE	
		AÑO BASE 1990 Gg CO ₂ EQUIVALENTE	AÑO 2002 Gg CO ₂ EQUIVALENTE	ACTIVIDAD	FACTOR DE EMISIÓN
1A3b Transporte Automotor - Gasolina	CO ₂	57,487.658	71,491.719	1.3%	6.7%
1A3b Transporte Automotor - Diesel	CO ₂	21,546.918	27,055.608	1.3%	1.7%
1A3a Aéreo Nacional	CO ₂	4,063.832	6,272.431	22.4%	5.0%
1A3b Transporte Automotor - GLP	CO ₂	923.743	3,258.682	2.2%	5.0%
1A3d Marítimo Nacional	CO ₂	1,808.251	2,267.128	50.0%	5.0%
1A3b Transporte Automotor - Gasolina	N ₂ O	390.893	1,642.100	5.0%	50.0%

Fuente: Informe del Inventario del Sector Transporte; 30 Nov., 2005.

de los datos. Tomando en cuenta esto y revisando las diferencias entre la información estadística nacional e internacional sobre la producción del carbón se consideró adecuado utilizar como valor para la incertidumbre el 10%

Sobre los datos de actividad (producción, transporte y distribución de petróleo y gas natural), estos son proporcionados por las estadísticas nacionales de energía a través del Balance Nacional de Energía de México, que es un sistema estadístico avanzado cuya publicación se ha mantenido constante varias décadas, la recopilación de la información sobre la producción, procesamiento, y utilización de la energía se realiza a través del flujo de información entre la Secretaría de Energía y la empresa paraestatal PEMEX, lo que hace a este sistema una fuente de información confiable. Los errores asociados a los datos de actividad registrados en los Balances Nacionales de Energía oscilan entre 10% y 15% debido al proceso de redondeo de cifras y a los factores de conversión de unidades aplicados a los datos originales de PEMEX, los cuales también arrastran los errores de medición. El valor conside-

rado como adecuado para los datos de actividad es del 10%. No así para los factores de emisión donde la incertidumbre considerada es aquella reportada en la tabla A1-1 del anexo 1 de las Directrices del PICC. La incertidumbre global estimada para las emisiones fugitivas de metano en las actividades de minado y manipulación del carbón, así como en las actividades del petróleo y gas natural se estimó utilizando el formato de incertidumbre descrito en el capítulo 6 sobre “la cuantificación de las incertidumbres en la práctica” de la Orientación de las Buenas Prácticas del PICC, fue de 4.15%.

Finalmente, la incertidumbre en las emisiones de los gases de efecto invernadero para todo la Categoría de Energía se estimó con el mismo formato del capítulo 6 de la orientación de las Buenas Prácticas del PICC, página 6.17. El dato de incertidumbre que se obtuvo fue del 5%. Lo que significa que la metodología y los factores de emisión utilizados en esta actualización son hasta ahora mejores que aquellos de las anteriores actualizaciones del inventario.

4. Procesos Industriales [2]

Las emisiones de este sector son el resultado de un gran número de actividades industriales que no están relacionadas con la energía, pero sí con la transformación de los materiales por medios físicos o químicos, los cuales al combinarse o reaccionar entre sí, liberan emisiones de gases de efecto invernadero. Durante esos procesos se pueden liberar los gases de efecto invernadero, los cuales son para esta categoría los CO_2 , CH_4 , N_2O , HFCs, PFCs y los SF_6 ; estos tres últimos son exclusivos de procesos industriales.

En algunos casos, las emisiones procedentes de los procesos industriales coinciden con emisiones procedentes de la quema de combustibles de la categoría de energía. Lo que se debe considerar los procesos no energéticos que no solo liberan calor, sino que además actúan como agentes reductores (ejemplo: el coque en la producción de metal); insumo de material en las plantas petroquímicas en la manufactura de productos no energéticos (ejemplo: uso de gas natural en la manufactura de amonio). Sin embargo, aquellos pro-

ductos que sean utilizados para la producción de calor, vapor y electricidad deberán ser reportados en la categoría de energía.

Las aplicaciones actuales y previstas del consumo de los compuestos HFCs, PFCs y SF_6 incluyen la refrigeración y aire acondicionados, extintores, aerosoles, solventes y producción de espumas. Es de esperar que el consumo de estos compuestos aumente considerablemente en las próximas décadas debido a su importancia como sustitutos de las sustancias que producen agotamiento de la capa de ozono.

Las emisiones de CO_2 procedentes de la utilización del carbono biológico como materia prima y en los procesos de fermentación no deben ser notificados en procesos industriales ni en ninguna otra categoría ya que se consideran de origen de fuentes de carbono que forman parte de un ciclo cerrado.

La categoría de procesos industriales está dividida en productos minerales (cemento, óxido de calcio, piedra caliza y dolmita, carbonato de sodio, imper-

meabilizantes y pavimentación con asfalto y vidrio); industria química (amonio, ácido nítrico, ácido atípico, carburos); producción de metales (hierro y acero, ferroaleaciones, aluminio); otros procesos industriales (pulpa y papel, alimentos y bebidas); producción de halocarbonos y hexafluoruro de azufre; y consumo de halocarbonos y hexafluoruro de azufre (equipos de refrigeración y aire acondicionado y en conmutadores eléctricos e interruptores automáticos).

4.1. Producción de cemento [2A1]

4.1.1. Metodología

En la producción de cemento, existen emisiones de CO₂ durante la producción de clínca, que es un producto intermedio resultado de la calcinación a altas temperaturas de materiales como carbonato de calcio (CaCO₃), óxido de silicio (SiO₂), óxido de aluminio (Al₂O₃) y óxido férrico (Fe₂O₃). Así también existen emisiones de SO₂, que corresponden al azufre en el combustible y en la arcilla de la materia prima. Sólo el proveniente de la arcilla se contabiliza como emisiones de dióxido de azufre, ya que el contenido en el combustible deberá ser estimado con los energéticos.

En una primera etapa de obtención de información, no se dispuso de ésta sobre la producción de

clínca, sin embargo, y tratando de cumplir con las buenas prácticas establecidas por el IPCC para la estimación de este producto, se determinó la cantidad de clínca a partir de la producción de cemento en sus varios tipos aplicando los porcentajes de clínca en cada tipo de cemento dados por defecto en las Directrices del IPCC/1996. Las emisiones de CO₂ se basan en la aplicación de la ecuación 2.1 de las directrices del IPCC.

Ecuación 2.1

$$\text{Producción estimada de clínca} = \text{Producción de Cemento} \cdot \text{Fracción de Clínca} - \text{Clínca importada} + \text{Clínca exportada}$$

El factor de emisión de Clínca, se calcula a partir de la siguiente ecuación:

$$FE(\text{clínca}) = 0.785 \left(\frac{\text{Contenido de CaO de CaO en la clínca}}{\text{Clínca}} \right)$$

$$FE(\text{clínca}) = 0.785 \cdot 0.65 = 0.510 \text{ toneladas de CO}_2 / \text{ toneladas de clínca}$$

A continuación, se tienen los datos de producción total de cemento por tipos, así como las estimaciones

TABLA 4.1 PRODUCCIÓN TOTAL DE CEMENTO, POR TIPOS Y PRODUCCIÓN ESTIMADA DE CLÍNCA, TONELADAS

AÑO	CEMENTO PORTLAND	CEMENTO BLANCO	MORTERO	CLÍNCA DE PORTLAND 75%	CLÍNCA DE BLANCO 62%	CLÍNCA DE MORTERO 64%	PROD. TOTAL DE CLÍNCA
1990	23,840,667	448,345	580,000	17,880,500	277,974	371,200	18,529,674
1992	26,137,822	449,171	700,000	19,603,366	278,486	448,000	20,329,852
1994	30,281,467	516,684	720,232	22,711,100	320,344	460,948	23,492,392
1996	26,440,276	466,440	1,140,024	19,830,207	289,193	729,615	20,849,015
1998	28,608,786	568,795	1,549,994	21,456,589	352,653	991,996	22,801,238
2000	31,518,759	613,075	1,096,005	23,639,069	380,107	701,443	24,720,619
2002	30,897,412	623,680	1,850,420	23,173,059	386,682	1,184,269	24,744,010

Fuente: INEGI, CANACEM (Cámara Nacional del Cemento) http://www.canacem.org.mx/industria_estadisticas.htm y United States Geological Survey (USGS).

de la producción de clínca, y las emisiones correspondientes por cada año considerado.

Considerando la información disponible en el país, y siguiendo el árbol de decisiones, se optó por estimar las emisiones de CO₂ a partir de la producción de clínca usando un factor de emisión por defecto.

En esta tabla se han utilizado factores por defecto para la estimación de la producción de clínca a partir de los diferentes tipos de cemento. Los factores son los dados en la Orientación de la Buenas Prácticas del IPCC del 2000. Se han utilizado los factores de la cota inferior, debido a que a pesar de no tener información cuantitativa de los diferentes tipos de cemento que se producen en México, sí se cuenta con información cualitativa de las mismas plantas productoras, respecto a la elaboración de diversos tipos como el puzolánico, de escoria y ceniza. Lo cual nos hace válido utilizar los mínimos valores dados por defecto en las buenas prácticas.

De los datos estimados de emisiones de CO₂, utilizando los factores y la producción de clínca, se tiene que de 1990 a 2002, ha habido un incremento del 33.5 %, y entre 1998 y 2002 se incrementaron las emisiones de dióxido de carbono un 8.5 %.

4.1.2 Incertidumbre

El contenido de cal en el cemento puede variar de 0.635, por lo que la incertidumbre en el factor de

0.4985 no será una constante, como se consideró aquí por no tener datos sobre esta variación en el contenido de óxido de calcio en las diferentes plantas del país.

Las emisiones están directamente relacionadas con el proceso y características de la materia prima por lo que un factor importante de incertidumbre será no contar con mediciones de emisiones por planta productora de cemento.

4.1.3 Propuesta de mejora

La Cámara Nacional del Cemento (Coordinación de la Comisión de Desarrollo Sustentable) ha cuantificando las emisiones de sus plantas afiliadas; información que al ser proporcionada contribuirá a una gran mejora en la certidumbre de las emisiones estimadas.

Para el caso de los años 2000 y 2002, se obtuvo información de la CANACEM (Cámara Nacional del Cemento), respecto a los factores de emisión de CO₂, siendo estos de 790 y 751 kilogramos de CO₂ por tonelada de Cemento, para el caso de la industria cementera en nuestro país. Sin embargo, no se tiene la información sobre la metodología de muestreo y análisis de emisiones en las plantas, por lo que se decidió no considerar la información hasta tener mayor certidumbre sobre ella.

Es importante mencionar que la Industria Cementera Nacional, está comprometida con la actividad de

TABLA 4.2 PRODUCCIÓN TOTAL DE CLINCA, TONELADAS, Y EMISIONES DE CO₂ Y SO₂

Años	Producción Total de Clinca	Emisiones de CO ₂ FE(c clínca)=0.510	Prod. Total de Cemento	Emisiones de SO ₂ FE(cemento) = 0.3 kg / Ton de cemento
	toneladas	Gg	Toneladas	Gg
1990	18,529,674	9,450.133	24,869,012	7.461
1992	20,329,852	10,368.224	27,286,993	8.187
1994	23,492,392	11,981.119	31,518,383	9.456
1996	20,849,015	10,632.997	28,046,740	8.415
1998	22,801,238	11,628.631	30,727,575	9.219
2000	24,720,619	12,607.515	33,227,839	9.969
2002	24,744,010	12,619.445	33,371,512	10.011

cuantificar sus emisiones a la atmósfera, por lo cual se estará en posibilidad de iniciar una serie histórica a partir del año 2000 y tener un registro lo más cercano a la realidad directamente de los productores.

Los factores que reporta la Cámara Nacional del Cemento son mostrados en la Tabla 4.3.

Como puede observarse, estos factores son entre 50 y 58 % mayores que el factor dado por defecto por el IPCC.

4.2. Producción de cal [2A2]

La producción total de cal en México entre 1994 y 2002, incluyendo la cal dolomítica, varió entre 3,700,000 y 4,100,000 toneladas por año. Estos resultados representan apenas el 60% de lo que reporta “The United States Geological Survey” (USGS)¹ En efecto, las estadísticas de USGS reportan una producción casi constante de 6,500,000 toneladas de cal en la última década. A diferencia de las estadísticas nacionales, los datos de USGS han sido estimados y no recopilados directamente en el sector productor, esto fue corroborado con información de la Secretaría de Comercio. Además de este hecho, no se encontró otro motivo que explicara la diferencia tan grande entre el volumen de producción reportado por las dos fuentes.

TABLA 4.3 FACTORES DE EMISIONES REPORTADOS
POR LA CÁMARA NACIONAL DEL CEMENTO

AÑO	FACTOR, CO ₂ , kg/ton de cemento
2000	790
2001	777
2002	751
2003	738
2004	745

Fuente: Cámara Nacional del Cemento (Coordinación de la Comisión de Desarrollo Sustentable)

Por otro lado, el censo de 1999 presenta también cifras un tanto diferentes de la producción de cal viva y de cal siderúrgica. En el censo se reporta una producción de 1,190,957 toneladas de cal viva en el año de 1998, de las cuales el 99% provienen del mercado nacional. En este caso puede tratarse de la producción total de cal viva sin considerar qué porcentaje se utilice en la fabricación de cal hidratada o apagada. Por otro lado, el censo reporta una producción de 423,556 toneladas de cal siderúrgica en el mismo año, más 80,630 de cal agrícola; esto contra 263,434 toneladas de cal siderúrgica y química que reporta el BIE y/o las Encuestas Mensuales del INEGI.

4.2.1. Metodología para estimar las emisiones de CO₂

Los datos de actividad consideran la producción nacional de cal por tipo, incluyendo la producción de cal hidratada.

No se cuenta con datos representativos del contenido de CaO y CaO?MgO en los diferentes tipos de cal producidos en el país, por lo tanto se utilizaron los factores de emisión por defecto que se reportan en el Manual de las Buenas Prácticas del IPCC para el Inventario de los Gases de Efecto Invernadero.

Los *datos de producción* de cal se obtuvieron de estadísticas nacionales de la producción de minerales no metálicos, provenientes del sector manufacturero.

Las emisiones se estimaron de acuerdo a la ruta dada en el árbol de decisiones, la cual indica para esta actividad se use los valores por defecto o si es una categoría principal de fuentes se calcule los factores de emisión y las emisiones de CO₂ para cada tipo de cal.

Esta información se reporta por tipo de cal, considerando básicamente la siguiente clasificación:

- a. Cal viva
- b. Cal hidratada o apagada
 - Cal hidráulica
 - Cal aérea

¹ <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/country/latin.html>.

- c. Cal para usos específicos
- Cal siderúrgica y química
 - Dolomita calcinada

No es necesario hacer la corrección para la proporción de cal hidratada porque los datos de cal viva conciernen exclusivamente a la producción de cal viva para la venta, y no la producción total. Por otro lado, se reporta la producción de cal hidratada como cal hidráulica y cal aérea hidratada:

La cal hidráulica está constituida principalmente de hidróxido de calcio, sílica (SiO_2) y alúmina (Al_2O_3) o mezclas sintéticas de composición similar. Tiene la propiedad de fraguar y endurecer incluso bajo el agua.

La cal aérea hidráulica está constituida principalmente por hidróxido de calcio.

De 1994 a 1998 es posible obtener la producción de cal hidráulica y aérea por separado. Para años posteriores, se reporta la producción global de cal hidratada (hidráulica + aérea).

En la clasificación de cal para usos específicos, se reporta la producción de cal siderúrgica y química. Esta última se usa principalmente en la industria de alimentos, vidrio, papel y en el tratamiento de aguas. También se incluye la producción de dolomita calcinada, que en este informe se asume que corresponde a la producción de cal dolomítica.

Para calcular los *factores de emisión* de dióxido de carbono, se tomaron en cuenta los parámetros básicos por defecto de los diferentes tipos de cal. De esta forma, los factores de emisión considerados fueron los siguientes:

- a. 0.75 toneladas de dióxido de carbono / tonelada de cal viva producida, para la producción de cal viva que se comercializa como tal.
- b. 0.77 toneladas de dióxido de carbono / tonelada de cal dolomita, para la dolomita calcinada producida.

c. 0.59 toneladas de dióxido de carbono / tonelada de cal hidráulica producida. Cabe señalar que este factor de emisión se consideró indistintamente para la producción de cal hidráulica y de cal aérea; ya que según lo indicado por algunos productores y documentos informativos², el contenido de CaO en la cal aérea cae dentro del rango reportado en el Manual de las Buenas Prácticas para la cal hidráulica. Dentro de este factor de emisión se está tomando en cuenta el contenido estequiométrico de agua en la cal hidratada o hidróxido de calcio (24 %).

d. 0.79 toneladas de dióxido de carbono / tonelada de cal siderúrgica y química. Se tomó el factor por defecto para la cal viva 100 % pura, lo que está de acuerdo con lo que se maneja en el Libro de Trabajo para la cal viva pura con una relación estequiométrica de 0.79. La cal siderúrgica es obtenida con caliza de alto contenido de CaO.

La producción nacional de cal se reporta en la tabla 4.4.

De acuerdo con la información de la Encuesta Industrial Mensual del INEGI, en promedio, el 70% de la cal producida en el año 2002 fue cal hidratada, usada principalmente en la industria de la construcción; el 13% fue cal viva para la venta, el 11% correspondió a la cal siderúrgica y química y el 6% a la producción de dolomita calcinada.

Las emisiones de dióxido de carbono provenientes de la producción de cal no han presentado variaciones importantes desde 1990, aunque éstas han ido en aumento. Entre el año 1990 y el año 2002 se obtuvo un incremento del 20.3 %. Entre el año 1998 y el año 2002, hubo un incremento de 8.1 % en estas emisiones.

4.2.2 Incertidumbre

La incertidumbre en la estimación de la emisión de dióxido de carbono procedente de la producción de cal

² http://www.carreteros.org/normativa/pg3/articulos/2/i/a_200der.htm. Pliego de prescripciones técnicas generales para obras de carreteras y puentes, y <http://www.Calespascual.com/category.aspx?c=50&hc=1>.

TABLA 4.4 PRODUCCIÓN DE CAL POR TIPO, TONELADAS

AÑO	CAL VIVA	CAL HIDRÁULICA Y AÉREA	CAL SIDERÚRGICA Y QUÍMICA	CAL DOLOMÍTICA
1990	484,790	2,844,644	19,094	153,632
1992	499,899	2,834,730	85,159	168,382
1994	459,648	2,978,823	115,372	175,636
1996	613,589	2,604,700	293,298	207,208
1998	514,508	2,803,472	263,434	225,052
2000	592,803	2,812,685	304,660	204,553
2002	545,587	2,825,260	440,020	250,714

Fuente: Banco de Información Económica (BIE). INEGI.

TABLA 4.5 EMISIÓN DE CO₂ EN LA PRODUCCIÓN DE CAL, GG

FE	0.75	0.59	0.79	0.77	TOTAL DE EMISIONES POR AÑO
AÑO	CAL VIVA	CAL HIDRÁULICA Y AÉREA	CAL SIDERÚRGICA Y QUÍMICA	CAL DOLOMÍTICA	
1990	363.592	1,678.339	15.084	118.296	2,175.311
1992	374.924	1,672.490	67.275	129.654	2,244.343
1994	344.736	1,757.505	91.143	135.239	2,328.623
1996	460.191	1,536.773	231.705	159.550	2,388.219
1998	385.881	1,654.048	208.112	173.290	2,421.331
2000	444.602	1,659.484	240.681	157.505	2,502.272
2002	409.190	1,666.903	347.615	193.049	2,616.757

está asociada a la incertidumbre en el factor de emisión y a la incertidumbre en la determinación del volumen de producción de cal en el país. Además se ve afectada por la determinación del contenido de óxido de calcio y/o magnesio, ya que no se cuenta con información específica a este respecto. Por lo tanto, la incertidumbre no será menor a +-2% para las emisiones provenientes de cal grasa y dolomítica y no menos de +-15% para las emisiones provenientes de cal hidratada.

4.2.3. Propuesta de mejora

Los Censos Industriales del INEGI pueden ser de gran ayuda, al contener más información que las Encuestas

Industriales Mensuales y/o el BIE. Sin embargo, es necesario conocer con más exactitud de qué forma están desagregados los datos, para interpretar de manera más útil los datos de producción. Además, el reporte de materias primas consumidas en la fabricación de cal, pudiera ser una gran ayuda para cuantificar la caliza utilizada en este sector y restar estas cantidades la utilización de piedra caliza y dolomita.

4.3. Utilización de piedra caliza y de dolomita [2A3]

El territorio mexicano dispone de importantes yacimientos de piedra caliza. En 1998 se reportaron 27

estados productores, de los cuales, la región norte (Coahuila, San Luis Potosí y Nuevo León) participa con 23.7% del volumen de producción; en el sureste (Quintana Roo, Tabasco y Oaxaca) se concentra el 20.1%; en la porción occidental (Jalisco y Colima) el 19.0%; la parte central (Hidalgo y el Estado de México) aporta el 16.2% y la noroeste (Sonora, Chihuahua y Baja California) contribuyen con 10.8%.³

La importancia comercial de la piedra caliza deriva esencialmente de su uso en la producción de cal, cemento y carbonato de calcio. Sin embargo, también se utiliza en la industria de la fundición, la industria química y agroquímica, así como en la fabricación de vidrio.

Los principales yacimientos de dolomita en México se encuentran localizados en los estados de Coahuila y Nuevo León. La producción total del mineral proviene de cuatro empresas, ubicadas en las ciudades de Monterrey, NL, Monclova, Coah. y Nueva Rosita, Coah⁴.

Los usos de la dolomita dependen principalmente de sus propiedades físicas y químicas. De acuerdo a sus propiedades físicas se usa en la construcción; por sus propiedades químicas se usa en la manufactura de cementos o cal; vidrio y fundición de hierro; alimentos; y otros. La dolomita, además de compartir usos comunes con la caliza, es una fuente de magnesio para la industria del acero, del vidrio y agrícola.

4.3.1 Metodología

Las emisiones de CO₂ procedentes de la utilización de la caliza y la dolomita se calcularon usando los factores de emisión por defecto propuestos por las Directrices del IPCC 1996, ya que no se cuenta con información de datos medidos directamente en las fábricas, ni datos de estas emisiones en el país.

Se supone que el consumo de piedra caliza es igual a la suma del mineral extraído en las minas y el material importado, restando el material exportado. De

éste cálculo se excluyen las cantidades de piedra caliza y dolomita utilizadas en la producción de cal, cemento y magnesio. Se remarca que no se consideró la cantidad de cal usada en procesos agrícolas que no emiten dióxido de carbono, por no contar con información desagregada de los usos de la cal.

- a) Los *datos de producción de caliza y dolomita* se obtuvieron de estadísticas básicas de la producción minero-metalúrgica, clasificada por producto. Específicamente, del anuario estadístico del CORE-MI y de estadísticas del INEGI.
- b) La información de *exportación e importación de caliza y dolomita* se obtuvo de bases de datos del comercio exterior de la Secretaría de Economía. Es importante mencionar que los volúmenes de exportación-importación están disponibles únicamente para los últimos años (del 2002 al 2005); y que para el periodo de 1990 a 2005 se dispone del valor de estas operaciones (en dólares). Con el objeto de poder usar esta información, para estimar el volumen, se obtuvieron los índices de precios de las exportaciones e importaciones, publicados por el Banco de México.
- c) El consumo de caliza en la producción de cal y de cemento se estimó en función de la producción total de cal y del consumo de clínca, respectivamente.
- d) No se consiguieron datos de la producción de magnesio en el país.
- e) Las siguientes secciones presentan los datos de actividad, y para ciertos casos, el procedimiento de estimación de los mismos. Al final se presentan las tablas resumen de la utilización de caliza y dolomita, y de las emisiones de dióxido de carbono asociadas.

Las cantidades reportadas de la producción de caliza reflejan la importancia de esta industria en nuestro país. Se puede observar un crecimiento progresivo desde 1990.

³ <http://www.economia.gob.mx/index.jsp?P=1802>. Perfil de caliza. Minería. Secretaría de Economía.

⁴ <http://www.economia.gob.mx/index.jsp?P=2053>. Perfil de dolomita. Minería. Secretaría de Economía.

TABLA 4.6 PRODUCCIÓN DE PIEDRA CALIZA Y DE DOLOMITA, TONELADAS

AÑO	PIEDRA CALIZA	DOLOMITA
1990	27,400,000	482,168
1992	31,800,000	466,490
1994	36,020,000	601,649
1996	37,641,000	929,933
1998	44,372,000	785,516
2000	58,267,000	403,664
2002	59,420,555	457,666

Fuente: Anuario Estadístico de los Estados Unidos Mexicanos. Ediciones 2000-2004. INEGI.

United States Geological Survey Commodities

Anuario Estadístico de la Minería Mexicana 2003.Edición 2004. COREMI

TABLA 4.7 IMPORTACIÓN DE DOLOMITA, TONELADAS

Año	Dolomita sin calcinar llamada cruda	Aglomerado de dolomita	Total de las importaciones de dolomita
1990	151	9	160
1992	199	26	225
1994	14,248	909	15,157
1996	1,219	1,007	2,226
1998	115,197	972	116,168
2000	105,444	60	105,504
2002	135,128*	225*	135,352

Estimados a partir del valor de la importación de dolomita por presentación (en dólares).

Fuente: Sistema de Información Arancelaria Vía Internet (SIAVI)

*Fuente: Anuario Estadístico de la Minería Mexicana 2003.Edición 2004. COREMI

TABLA 4.8 UTILIZACIÓN DE PIEDRA CALIZA Y DE DOLOMITA PARA LA PRODUCCIÓN DE CAL, TONELADAS

AÑO	PIEDRA CALIZA	DOLOMITA
1990	4,743,907	294,462
1992	4,875,464	322,733
1994	5,052,258	336,636
1996	5,139,306	397,149
1998	5,177,658	431,350
2000	5,403,538	392,060
2002	5,577,931	480,535

TABLA 4.9 RESUMEN DE LA UTILIZACIÓN DE PIEDRA CALIZA Y DE DOLOMITA, TONELADAS

AÑO	EXTRACCIÓN DEL MINERAL	CONSUMO PARA LA PRODUCCIÓN DE CAL	CONSUMO PARA LA PRODUCCIÓN DE CEMENTO	CONSUMO DE CALIZO
1990	27,400,000	4,743,907	14,758,966	7,897,127
1992	31,800,000	4,875,464	16773585	10,150,951
1994	36,020,000	5,052,258	19064640	11,903,102
1996	37,641,000	5,139,306	17986147	14,515,547
1998	44,372,000	5,177,658	18910822	20,283,520
2000	58,267,000	5,403,538	19936703	32,926,759
2002	59,420,555	5,577,931	20022907	33,819,717

TABLA 4.10 UTILIZACIÓN DE PIEDRA CALIZA Y DE DOLOMITA, TONELADAS

AÑO	PIEDRA CALIZA	DOLOMITA
1990	7,897,127	187,866
1992	10,150,951	143,982
1994	11,903,102	280,170
1996	14,515,547	535,010
1998	20,283,520	470,334
2000	32,926,759	117,108
2002	33,819,717	112,483

TABLA 4.11 EMISIÓN DE CO₂ POR LA UTILIZACIÓN DE PIEDRA CALIZA Y DE DOLOMITA, GG

FACTOR DE EMISIÓN	440 KG DE CO ₂ / TON DE CALIZA UTILIZADA	477 KG CO ₂ / TON. DE DOLOMITA UTILIZADA	EMISIONES TOTALES DE CO ₂ PROCEDENTES DE LA UTILIZACIÓN DE CALIZA Y DOLOMITA
	EMISIÓN DE CO ₂ PROCEDENTE DE LA UTILIZACIÓN DE CALIZA	EMISIÓN DE CO ₂ PROCEDENTE DE LA UTILIZACIÓN DE DOLOMITA	
AÑO			
1990	3 474.735	89.612	3 564.347
1992	4 466.418	68.679	4 535.097
1994	5 237.364	133.641	5 371.005
1996	6 386.840	255.199	6 642.039
1998	8 924.748	224.349	9 149.097
2000	14 487.773	55.860	14 543.633
2002	14 880.675	53.654	14 934.329

Las emisiones de dióxido de carbono se han incrementado notablemente año con año, especialmente en los últimos años. Entre el año 1990 y el año 2002 se obtuvo un incremento del 319% en las emisiones procedentes de la utilización de caliza y dolomita. Entre el año 1998 y el año 2002 las emisiones aumentaron un 63%.

4.3.2. Incertidumbre

La incertidumbre asociada a la estimación de las emisiones procedentes del consumo de la caliza y la dolomita depende de la incertidumbre en el factor de emisión, así como de la estimación del consumo de caliza y dolomita en la producción de cal y cemento. En el caso del consumo de caliza y dolomita para la producción de cal, no se cuenta con datos de la pureza de los minerales, ni del contenido de CaO o CaO?MgO en la cal elaborada. En el caso del consumo de caliza para la fabricación de cemento, no se reporta directamente la producción de clínca; eso significa que debe sumarse la incertidumbre derivada de la estimación de producción nacional de clínca. En este último caso, además, no se cuenta con información desagregada por tipo de cemento, y por lo tanto no se conoce el porcentaje de caliza que se usa para formular los diferentes tipos de cemento. Otro factor que incrementa la incertidumbre es el hecho de que en México no se reportan mediciones directas de los factores de emi-

sión en los diferentes sectores de producción referidos en esta sección.

4.3.3. Propuesta de mejora

Las estimaciones de emisiones en este sector pueden mejorarse con una relación más estrecha con asociaciones relacionadas con el mismo. Esto con el objeto de detectar factores de emisión representativos de la industria nacional, así como datos de la pureza de los minerales utilizados; especificaciones de los productos obtenidos, e información sobre el volumen de las operaciones de exportación e importación.

4.4. Producción y utilización de carbonato de sodio [2A4]

4.4.1 Metodología

La cantidad total de carbonato de sodio producido en el país es el acumulado del proceso denominado natural, a partir del mineral trona y del proceso sintético. Sin embargo, la emisión de dióxido de carbono se contabiliza tanto en la producción por proceso natural como en la utilización del carbonato de sodio total producido.

En la producción de carbonato de sodio por el proceso natural, se emiten a la atmósfera 0.136 toneladas de CO₂ por tonelada de carbonato de sodio o 0.097

TABLA 4.12 PRODUCCIÓN DE CARBONATO DE SODIO, MILES DE TONELADAS

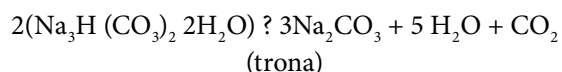
AÑO	PROCESO NATURAL	PROCESO SINTÉTICO
1990	190	259
1992	160	280
1994	160	280
1996	290	ND
1998	290	ND
2000	611	290
2002	591.5	290

Fuente: Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), www.inegi.gob.mx y del United States Geological Survey (USGS).

TABLA 4.13 EMISIÓN DE CO₂ EN LA PRODUCCIÓN DE CARBONATO DE SODIO POR PROCESO NATURAL

AÑO	PROCESO NATURAL, MILES DE TONELADAS	ESTIMACIÓN DE TRONA´ MILES DE TON	EMISIÓN DE CO ₂ , GG
1990	190	269.800	26.170
1992	160	227.200	22.038
1994	160	227.200	22.038
1996	290	411.800	39.944
1998	290	411.800	39.944
2000	611	867.620	84.159
2002	591.5	840.750	81.552

toneladas de CO₂ por tonelada de **trona**. Lo anterior derivado de la estequiometría de la ecuación química



Entre el año 1990 y el 2002 se tuvo un incremento del 212 % en las emisiones de bióxido de carbono durante el proceso de producción de carbonato de sodio a partir del proceso natural. Entre el año 1998, actualización anterior del inventario, y el año 2002, el incremento fue del 104 % en las emisiones de dióxido de carbono.

En la estimación de dióxido de carbono emitido por la utilización del carbonato de sodio se suman las producciones de ambos procesos y se calcula el CO₂ generado por el carbonato de sodio total de acuerdo

con el Factor de Emisión de 415 kg de CO₂ por tonelada de carbonato de sodio utilizado.

Las emisiones de dióxido de carbono a partir de la utilización del carbonato de sodio en los diversos procesos industriales se incrementaron un 96% entre el año 1990 y el año 2002, siendo el incremento de 204 % entre 1998, actualización anterior del inventario y el año de 2002.

4.4.2. Incertidumbre

Las emisiones de dióxido de carbono generado por la utilización del carbonato de sodio depende del proceso en el que se emplee: elaboración de vidrio, jabones y detergentes, industria del papel, tratamiento de agua, etcétera, por lo que, no teniendo información específica de las emisiones en cada proceso, existe la inexactitud del Factor de Emisión empleado.

Se estima que los datos no encontrados sobre importación y exportación pudieran ser significativos para el cálculo de las emisiones de dióxido de carbono por utilización o uso de carbonato de sodio.

4.4.3. Propuesta de mejora

Integración de un directorio de empresas productoras de este producto y/o de las industrias que lo utilizan. Adquirir cada año, de manera oficial, información de volúmenes de producción y/o utilización del producto por las empresas en el país.

TABLA 4.14 EMISIONES DE CO₂ A PARTIR DE LA UTILIZACIÓN DE CARBONATO DE SODIO

AÑO	Na ₂ CO ₃ , MILES DE TONELADAS	EMISIÓN DE CO ₂ , GG
1990	449	186.335
1992	440	182.600
1994	440	182.600
1996	290	120.350
1998	290	120.350
2000	901	373.915
2002	881	365.615

TABLA 4.15 FACTORES DE EMISIÓN PARA LA PRODUCCIÓN DE MATERIAL ASFÁLTICO PARA TECHOS (KG/TONELADA DE PRODUCTO)

GAS	FACTOR DE EMISIÓN (SATURACIÓN CON ROCIADO)	FACTOR DE EMISIÓN (SATURACIÓN SIN ROCIADO)
COVDM	0.13 – 0.16	0.046 – 0.049
CO	ND	0.0095

ND = No disponible

4.5. Productos minerales varios

4.5.1. Material asfáltico para techos [2A5]

4.5.1.1. Metodología

Los procesos que contribuyen a las emisiones provenientes de la fabricación de material asfáltico para techos son: la línea de manufactura, la entrega, el traslado y el almacenaje de productos asfálticos y minerales utilizados en la manufactura de productos asfálticos para techos y el soplado del asfalto.

En estos procesos la saturación de los materiales como cartón, tela o fibra de vidrio con asfalto, da lugar a emisiones así como el soplado.

Se da por supuesto que todo el asfalto utilizado en usos diferentes de la pavimentación corresponderá al asfalto soplado, ya que el soplado es el proceso de polimerización y estabilización del asfalto para mejorar sus características de resistencia a la intemperie.

Los procesos de saturación y soplado, serán considerados en la cuantificación de emisiones de CO y COVDM, en la manufactura de materiales asfálticos para techos.

La metodología usada fue combinar las estadísticas de la producción total nacional con los factores de emisión promedio y a partir de esa información, estimar las emisiones totales.

Los factores de emisión han sido tomados del Libro de Trabajo para el inventario de gases de efecto invernadero de las Directrices del IPCC para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero, versión revisada en 1996, dados en las tablas 4.15 y 4.16

TABLA 4.16 FACTORES DE EMISIÓN PARA EL PROCESO DE SOPLADO DEL ASFALTO (KG/TONELADA DE PRODUCTO)

GAS	FACTOR DE EMISIÓN (CON POSTQUEMADOR)	FACTOR DE EMISIÓN (NINGÚN CONTROL)
COVDM	0.1	2.4

En la Tabla 4.17, se dan los datos de producción total de materiales asfálticos para techos, y las emisiones de CO y COVDM correspondientes por cada año considerado.

De los datos estimados de emisiones, se tiene que de 1990 a 2002, ha habido un incremento del 8.8%, para COVDM y CO, y entre 1998 y 2002 hubo un decremento de 5.3%.

4.5.1.2. Incertidumbre

El estimado de las emisiones provenientes de este material, se ha elaborado con base en el Libro de Trabajo para el inventario de gases de efecto invernadero de las Directrices del IPCC para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero, versión revisada en 1996.

Se han considerado los factores de emisión de mayor magnitud, puesto que no se tiene información respecto a los procesos de saturación de los materiales asfálticos para techos. Así también, en cuanto al proceso de soplado, no se cuenta con información acerca del control en las plantas que llevan a cabo este proceso.

TABLA 4.17 PRODUCCIÓN TOTAL DE MATERIAL ASFÁLTICO PARA TECHOS, TONELADAS

AÑO	PRODUCCIÓN DE MATERIAL ASFÁLTICO PARA TECHOS (TONELADAS)	EMISIONES DE COVDM	EMISIONES DE COVDM	TOTAL EMISIONES DE COVDM GG	EMISIONES DE CO FACTOR=0.0095 KG/TON; TOTAL EN GG
		PROCESO DE SATURACIÓN	PROCESO DE SOPLADO		
		FACTOR=0.16 KG/TON	FACTOR=2.4 KG/TON		
1990	186,527*	29,844.32	447,664.8	0.477	0.002
1992	184,822*	29,571.52	443,572.8	0.473	0.002
1994	185,237	29,637.92	444,568.8	0.474	0.002
1996	219,469	35,115.04	526,725.6	0.561	0.002
1998	214,142	34,262.72	513,940.8	0.548	0.002
2000	224,849	35,975.84	539,637.6	0.575	0.002
2002	202712	32,433.92	48,6508.8	0.519	0.002

Fuente: Banco de Información Económica (BIE), INEGI; <http://www.inegi.gob.mx>

* Datos parciales estimados por correlación

4.5.1.3. Propuesta de mejora

En un trabajo posterior podría organizarse una metodología detallada, recopilando información directamente en las plantas de soplado y saturación de materiales asfálticos, para de esta manera, obtener los factores de emisión más adecuados en los diferentes procesos.

3.5.2. Pavimentación asfáltica [2A6]

4.5.2.1 Metodología

Las superficies asfálticas de las carreteras están compuestas de material inerte compactado y ligante asfáltico. En el proceso de fabricación del asfalto y durante las operaciones de revestimiento de las carreteras, ocurren emisiones de COVDM, así como emisiones de estos mismos compuestos después de que se han pavimentado las superficies.

Las emisiones de COVDM dependen del tipo de asfalto (curado lento, mediano o rápido) y de la cantidad de diluyente. En el Manual de Referencia de las

Directrices del IPCC revisadas en 1996 para los inventarios de los gases de efecto invernadero, se propone un factor de emisión de 320 kg de COVDM por tonelada.

En la tabla 4.18 se dan los datos de producción total de concreto asfáltico para pavimentación, y las emisiones de COVDM correspondientes a cada año considerado.

De los datos estimados de emisiones, se tiene que de 1990 a 2002, ha habido un incremento del 34.5 %, para COVDM, y entre 1998 y 2002 hubo un incremento de 48.6 %.

4.5.2.2. Incertidumbre

Existe una gran incertidumbre en la estimación de emisiones en esta fuente, tanto por los datos de la actividad como en los factores de emisión aplicados.

4.5.2.3. Propuesta de mejora

En un trabajo posterior podría organizarse una metodología detallada, recopilando información

TABLA 4.18 PRODUCCIÓN TOTAL DE CONCRETO ASFÁLTICO PARA PAVIMENTACIÓN, TONELADAS

AÑO	PRODUCCIÓN DE CONCRETO ASFÁLTICO, TONELADAS	TOTAL DE EMISIONES DE COVDM, Gg
1990	900,000*	288.000
1992	1,000,000*	320.000
1994	1,323,749	423.599
1996	765,876	245.080
1998	814,711	260.707
2000	1,483,734	474.794
2002	1,210,904	387.489

Fuente: Banco de Información Económica (BIE), INEGI; <http://www.inegi.gob.mx>

*Datos estimados por correlación

directamente en las empresas que se dedican a la pavimentación, respecto a los tipos de curado y cantidades de diluyente utilizado.

3.5.3. Hormigón de piedra pómez

La producción de hormigón de piedra pómez, es similar a la del cemento. En este proceso existen emisiones de SO₂, tanto por la utilización de combustible y por contenido de azufre en la arcilla.

No se encontró información relacionada con la producción de este material. Las fuentes de información consultadas, fueron el INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática), la ANIQ (Asociación Nacional de la Industria Química) y la CANACEM (Cámara Nacional del Cemento). Sólo se consiguió información acerca de la producción en fábricas alemanas.

3.5.4. Producción de vidrio [2A7]

4.5.4.1. Metodología

En la producción de vidrio, se pueden distinguir diferentes tipos como son: vidrio plano, vidrio para envases, lana de vidrio, vidrios especiales, así como vidrio para utensilios como vasos y vajillas. Los procesos de fundición para los diferentes productos son similares.

El proceso de fundición es el paso más importante a considerar en la calidad y cantidad de vidrio a producir, el cual depende del diseño del horno. En los hornos de fundición, el vidrio es fundido a temperaturas entre 1500 – 1600 °C y es transformado a través de una secuencia de reacciones químicas.

Los contaminantes emitidos durante la manufactura del vidrio son óxidos de azufre (SO_x), óxidos de nitrógeno (NO_x), compuestos orgánicos volátiles diferentes al metano (COVDM), metano (CH₄), monóxido de carbono, (CO), dióxido de carbono (CO₂) y óxido nitroso (N₂O). Así también otras emisiones no relevantes pueden ser cloruro de hidrógeno, fluoruro de hidrógeno, partículas y metales pesados también pueden ser producidos durante la fundición.

Sin embargo, en la metodología simplificada expuesta en el Libro de Trabajo para el inventario de gases de efecto invernadero de las Directrices del IPCC, versión revisada en 1996, todos estos pueden ser englobados en COVDM, para los cuales puede ser considerado un factor de 4.5 kg/tonelada de vidrio producido en sus diversas variedades.

A continuación, se tiene los datos de producción total de vidrio en sus diferentes modalidades, así como las emisiones de COVDM correspondientes por cada año considerado.

De los datos estimados de emisiones, se tiene que de 1990 a 2002, ha habido un incremento del 87.24%,

TABLA 4.19 PRODUCCIÓN TOTAL DE VIDRIO, TONELADAS

AÑO	PRODUCCIÓN DE VIDRIO (TONELADAS)	TOTAL DE EMISIONES DE COVDM, Gg
1990	358 870	1.614
1992	453 356	2.040
1994	693 313	3.119
1996	642 613	2.891
1998	735 289	3.308
2000	594 676*	2.676
2002	671 979*	3.023

Fuente: Banco de Información Económica (BIE), INEGI; <http://www.inegi.gob.mx>

*Datos parciales estimados por correlación

de COVDM, y entre 1998 y 2002 hubo un decremento de 8.61%.

4.5.4.2. Incertidumbre

El estimado de las emisiones provenientes de este material, se ha elaborado con base en el Libro de Trabajo para el inventario de gases de efecto invernadero de las Directrices del IPCC para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero, versión revisada en 1996.

4.5.4.3. Propuesta de mejora

En nuestro país, se cuenta con productores de vidrio importantes como Vitro, que tienen incluso un mercado internacional, por lo que en trabajos posteriores,

sería interesante contactar con los productores para así obtener información más detallada de los procesos de fundición, respecto a los tipos de hornos y a los combustibles que se utilizan, debido a que es en este paso donde se tienen las emisiones a considerar en una metodología detallada, tal como se ha realizado en otros países como Alemania y otros de Europa, reportados en el EMEP-CORINAIR.

4.6. Producción de amoníaco [2B1]

2.6.1 Metodología

El cálculo de las emisiones se realizó a partir de la producción de amoníaco, Nivel 1b, utilizando un **Factor de Emisión** de 1.5 toneladas de CO₂ por tonelada de

TABLA 4.20 EMISIONES DE CO₂ EN LA PRODUCCIÓN DE AMONIACO

AÑO	AMONIACO PRODUCIDO, MILES DE TONELADAS	EMISIONES DE CO ₂ , Gg
1990	2 632.2	3 948.300
1992	2677.8	4 016.700
1994	2467.9	3 701.850
1996	2499.7	3 749.55
1998	1819.2	2 728.800
2000	815.0	1 222.500
2002	752.0	1 128.000

Fuentes: Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), Anuario estadístico del Sector energético, www.sener.gob.mx y del USGS, datos son reportados en toneladas de N en el amoníaco.

TABLA 4.21 EMISIONES DE COVDM, CO Y SO₂ A PARTIR DE LA PRODUCCIÓN DE AMONIACO

AÑO	NH ₃ , MILES DE TONELADAS	COVDM, GG	CO, GG	SO ₂ , GG
1990	2,632.2	12.371	20.794	0.079
1992	2,677.8	12.585	21.154	0.080
1994	2,467.9	11.599	19.496	0.074
1996	2,499.7	11.748	19.749	0.075
1998	1,819.2	8.550	14.371	0.054
2000	815.0	3.830	6.438	0.024
2002	752.0	3.534	5.940	0.023

amoniaco producido a partir del uso del gas natural como materia prima principal. Mediante el reformulado catalítico se genera el hidrógeno y éste se combina con nitrógeno para formar el amoniaco.

Las emisiones de dióxido de carbono por la producción de amoniaco entre los años 1990 y 2002 mostraron un decremento del 71.4 %. Así mismo también disminuyeron en un 58.7 % entre 1998 y 2002.

Para la estimación de las emisiones de COVDM, CO y SO₂, se consideraron los FE dados por defecto en la metodología del IPCC, los cuales son: 4.7, 7.9 y 0.03 kg por tonelada de amoniaco, respectivamente.

Entre los años 1990 y 2002 las emisiones de COVDM, CO y SO₂, por la producción de amoniaco, tuvieron una disminución importante de aproximadamente el 71 %. Las emisiones de estas mismas especies en el año 2002 fueron menores a las del año 1998 en 58 % aproximadamente, por la producción de amoniaco.

4.6.2. Incertidumbre

Entre una y otras fuentes de información se encontró una diferencia del 3.3% en los valores. Además, fueron considerados factores de emisión que resultan promedio de las diferentes plantas. Una mejor aproximación (Nivel Ia) es conociendo la cantidad de gas natural empleado por unidad de producción de amoniaco.

4.6.3. Propuesta de mejora

Tener un inventario de las plantas y los procesos utilizados en cada una de ellas, sobre todo en lo referente al reformulado catalítico.

4.7. Producción de ácido nítrico [2B2]

4.7.1. Metodología

En México no se cuenta con factores de emisión de N₂O asociados a la producción de ácido nítrico, ni con información de la tecnología y condiciones de operación. Por lo tanto, la estimación de emisiones de óxido nítrico se ha hecho a partir de la producción de ácido nítrico y un factor de emisión por defecto equivalente al promedio del rango de 2-9 kg N₂O por tonelada de ácido nítrico, considerado para plantas en Estados Unidos de Norteamérica.

Las emisiones de NO_x se estimaron a partir del volumen de producción de ácido nítrico. El factor utilizado es de 12.0 kg de NO_x/ tonelada de ácido nítrico; valor por defecto cuando se desconoce la tecnología y condiciones de operación para producir ácido nítrico.

El valor máximo de las emisiones se obtuvo en 1996, mientras que el valor mínimo se obtuvo en 1994. La tendencia general es la disminución de las emisiones de N₂O y NO_x. Sin embargo esta tendencia no ha sido uniforme entre 1990 y 2002. En resumen, las emisiones en 2002 disminuyeron un 78% en relación a las

TABLA 4.22 EMISIONES PRODUCCIÓN DE ÁCIDO NÍTRICO, TONELADAS

AÑO	PRODUCCIÓN DE ÁCIDO NÍTRICO
1990	295 000
1992	182 800
1994	25 000
1996	592 000
1998	415 999
2000	149 923
2002	64 782

Fuente: Serie de Estadísticas Sectoriales. La Industria Química en México. Ediciones 1995, 2000-2004. INEGI

TABLA 4.23 EMISIÓN DE N₂O Y NO_x PROCEDENTE DE LA PRODUCCIÓN DE ÁCIDO NÍTRICO, Gg

AÑO	EMISIONES DE N ₂ O	EMISIÓN DE NO _x
1990	1.620	3.540
1992	1.000	2.190
1994	0.140	0.300
1996	3.260	7.100
1998	2.290	4.990
2000	0.820	1.800
2002	0.360	0.780

emisiones de 1990; un 89% en relación a 1996 (máxima tasa de emisiones); y un 84% en relación a 1998.

4.7.3. Incertidumbre

La incertidumbre asociada a la estimación de las emisiones procedentes de la producción de ácido nítrico está asociada a la incertidumbre en la estimación del factor de emisión. La falta de información sobre las características del proceso de producción presupone una alta incertidumbre en la estimación de las emisiones.

4.7.4. Propuesta de mejora

Las estimaciones de emisiones en este sector pueden mejorarse con información procedente directamente

de la industria. Se requiere esencialmente conocer la tecnología y las condiciones de operación, así como factores de emisión representativos de fábricas del país.

4.8. Producción de ácido adípico [2B3]

4.8.1. Metodología

El ácido adípico es un ácido dicarboxílico fabricado a partir de una mezcla de ciclohexanona/ciclohexanol que es oxidada por el ácido nítrico. El N₂O se genera como subproducto de la etapa de oxidación.

La producción de ácido adípico da origen también a emisiones de NO_x, COVDM y CO. Las emisiones procedentes de la producción de ácido adípico varían considerablemente dependiendo del nivel de control de emisiones empleado.

En México no se produce Acido Adípico, pero sí hay importación y exportación. A continuación se mencionan las cifras que se obtuvieron para los años 2000 y 2002.

4.9. Producción de carburos [2B4]

4.9.1. Producción de carburo de silicio

4.9.1.1. Metodología

En la producción de carburo de silicio, existen emisiones de CO₂ y CH₄, el primero es liberado como subproducto de la reacción entre el cuarzo y el carbono. Las emisiones de metano son una parte de los

TABLA 4.24 IMPORTACIÓN Y EXPORTACIÓN DE ÁCIDO ADÍPICO, KILOGRAMOS

AÑO	IMPORTACIÓN	EXPORTACIÓN
2000	3,332,280	1,050
2002	4,445,449	n/d

Fuente: INEGI. Asociación Nacional de la Industria Química (ANIQ) y Cámara Nacional de la Industria de la Transformación (CANACINTRA)

TABLA 4.25 FACTORES DE EMISIÓN PARA EL CO₂ PROCEDENTE DE LA PRODUCCIÓN DE CARBURO DE CALCIO

Piedra caliza	0.76	Toneladas de CO ₂ /ton de carburo
Reducción	1.090	Toneladas de CO ₂ /ton de carburo
Utilización del producto	1.100	Toneladas de CO ₂ /ton de carburo

volátiles que contiene el coque de petróleo que es utilizado como fuente de carbono, el cual es liberado del coque, principalmente durante el arranque.

Los factores de emisión típicos son: 2.3 ton de CO₂/ton de coque; 10.2 kg de CH₄/ton de coque de petróleo o de 11.6 kg de CH₄/ton de carburo producido. Estos datos son de acuerdo al Libro de Trabajo para el inventario de gases de efecto invernadero de las Directrices del PICC/1996.

Se sabe que existe producción de carburo de silicio en México, ya que así se reporta en las páginas de las empresas: CINASA (Compañía Nacional de Abrasivos, S.A. de C.V.) e IMC (Industrial Minera Comercial, S.A. de C.V.), pero no existe reporte como tal en las estadísticas nacionales del INEGI. Sólo se encontró información relacionada con producción de este carburo para el año 1998, con una producción de 1,109 toneladas; lo cual aplicándole un factor de 11.6 kg de CH₄/ton de carburo producido, da unas emisiones de metano de 0.01 Gg.

4.9.1.2. Propuesta de mejora

Interactuar con el INEGI para ver la posibilidad de contar con esta información para los fines del inventario, exclusivamente.

4.9.2. Producción de carburo de calcio

4.9.2.1. Metodología

Durante la producción de carburo de calcio, se tienen 2 pasos importantes donde existen emisiones de CO₂, uno es en el calentamiento del carbonato de calcio (CaCO₃) y el otro en la reducción posterior del óxido de calcio (CaO). Es importante señalar que si en la fá-

brica de carburo de calcio, no se realiza la calcinación del carbonato de calcio para obtener óxido de calcio, entonces sólo se reportarán las emisiones de la reducción del óxido de calcio, por lo que las emisiones de la calcinación deberán ser reportadas en el rubro de la producción de cal (CaO). En este inventario se estimaron las emisiones de dióxido de carbono a partir de la reducción del óxido de calcio.

Por lo anterior, las emisiones deberán ser estimadas atendiendo a la utilización de las materias primas. Los factores de emisión son como se muestra en la tabla 4.25.

El carburo de calcio, es un producto que sólo está reportado en los Censos Económicos de 1999 del INEGI. Estos censos se realizan cada 5 años, pero no hay datos desglosados en los censos anteriores, así tampoco se tiene aún la publicación del Censo correspondiente a 2004. Por lo que sólo se reporta en este inventario el dato relativo al censo de 1999, con datos reportados de 1998.

A continuación se presenta en la tabla 4.26, la producción de carburo de calcio y las emisiones correspondientes a 1998.

4.9.2.2. Propuesta de mejora

Solicitar al INEGI, la inclusión de este producto de manera explícita en la Encuesta Industrial Mensual, y así tener información periódica para la elaboración anual o bianual del inventario.

4.10. Producción de otras sustancias químicas [2B5]

La industria petroquímica⁵ nacional nace en 1956 cuando PEMEX inicia la producción de azufre. Casi

⁵ <http://ingenierias.uanl.mx/18/Archivos/PDF/Apuntes%20de%20historia.pdf>. Apuntes de historia de la química industrial en México / Benito Bucal. Grupo Industrial Bre, S.A. de C.V.

TABLA 4.26 PRODUCCIÓN DE CARBURO DE CALCIO, TONELADAS

Año	Producción Carbuco de Calcio (toneladas)	Emisiones de CO ₂		Total de Emisiones de CO ₂ Gg
		Reducción	Utilización del producto	
		Factor=1.090 ton/ton	Factor=1.10 ton/ton	
1998	28 854	31 450.86	31 739.40	63.19

Fuente: Banco de Información Económica (BIE), INEGI; <http://www.inegi.gob.mx>

al mismo tiempo PEMEX también arranca la primera unidad de dodecibenceno (DDB) para su uso en detergentes.

Actualmente PEMEX⁶ engloba los procesos de refinación y elaboración de productos petrolíferos; el procesamiento de gas natural y elaboración y comercialización de productos petroquímicos básicos, derivados de la primera transformación del gas natural.

En particular, la Industria Petroquímica⁷ abarca la producción de:

a) Aromáticos y Solventes. Se elaboran en el Centro Productor Cangrejera y están dirigidos al mercado de las pinturas y los solventes, pegamentos, impermeabilizantes, texturizados, recubrimientos, selladores, adhesivos, adelgazadores y emulsiones para el mantenimiento de instalaciones industriales y residenciales, así como al sector automotriz.

Ejemplo: *producción de Estireno*

b) Polímeros. En PEMEX Petroquímica se elaboran 2 tipos de resinas: El Polietileno de Baja Densidad que se utiliza principalmente para hacer bolsas para empaque de productos de todo tipo y el Polietileno de Alta Densidad que se utiliza para elaborar infinidad de artículos plásticos para uso doméstico, automotriz, juguetes, etc.

c) Químicos. En este grupo están incluidos los productos derivados del gas natural, tales como el amoníaco y los derivados del etileno (óxido de etileno, monoetilenglicol, dietilenglicol, acetaldehído, etc.). Son productos que se elaboran en los Centros Productores Cangrejera y Morelos.

Ejemplo: *producción de acrilonitrilo, cloruro de vinilo, dicloroetano, propileno.*

El etileno es el componente más importante de la cadena petroquímica mexicana.

El estireno es un producto que se obtiene en el Centro Productor Cangrejera y es utilizado principalmente para elaborar *Poliestireno*.

El cloruro de vinilo también es un derivado de etileno, sólo que éste presenta la característica de ser un derivado clorado, se elabora en el Centro Productor Pajaritos y sirve para fabricar PVC (*Policloruro de Vinilo*).

Petroquímica PEMEX guarda una estrecha relación con empresas privadas nacionales dedicadas a la elaboración de fertilizantes, plásticos, fibras y hules sintéticos, fármacos, aditivos, etc.

Algunos productos de la petroquímica secundaria son por ejemplo: *negro de humo*, fertilizantes nitrogenados (como la *urea*) y las resinas sintéticas (como

⁶ <http://www.pemex.com>. PEMEX

⁷ <http://ptq.pemex.com>. PEMEX Petroquímica

TABLA 4.27 PRODUCCIÓN DE OTROS PRODUCTOS QUÍMICOS, TONELADAS

AÑO PRODUCTO	1990	1992	1994	1996	1998	2000	2002
Negro de humo	125,300	89,800	84,400	107,800	119,769	114,321	86,099
Etileno	1,369,800	1,481,700	1,316,700	1,339,800	1,255,600 ⁸	1,157,900	994,000
Dicloro etileno	394,100	386,100	356,300	319,000	312,000	302,300	253,000
Estireno ⁹	157,900	159,900	162,000	154,700	128,000	143,500	128,400
Metanol	210,000	200,000	185,000	211,000	193,000	189,000	169,000
Coque	2,337,159	2,033,003	1,984,730	2,184,364	2,202,558	2,235,032	1,451,000

Fuente: Anuario Estadístico de PEMEX. Ediciones 2000-2004.

Serie de Estadísticas Sectoriales. La Industria Química en México. Ediciones 1995, 2000-2004. INEGI.

Anuario Estadístico de los Estados Unidos Mexicanos. Ediciones 2000-2004. INEGI.

resinas ABS). El *anhídrido ftálico* y el *formaldehído* son subproductos, provenientes de la petroquímica intermedia.

Otras producciones en México están presentes desde hace mucho tiempo. El *ácido sulfúrico* se produce desde los años 30. Primero por una empresa alemana, Beick-Félix-Stein y después por una empresa mexicana, Alkamex, la cual inició con la producción de sulfato de aluminio y luego ácido sulfúrico (la primera planta mexicana que usó el proceso catalítico, denominado “de contacto”). En 1950 la primera planta de amoníaco sintético en México, construida por Guanos y Fertilizantes en Tultitlán, trae con ella más ácido sulfúrico.

Después, con el impulso que se da en la industria petroquímica, se multiplica la producción de amoníaco y de ácido sulfúrico, que se produce para satisfacer las necesidades de las diferentes industrias. Así, aparece Fertilizantes Fosfatados Mexicanos (1966) que produce, en escala comparable al resto del mundo, ácido fosfórico y superfosfato triple, con la consecuente producción de ácido sulfúrico necesario para ello.

Celulosa y Derivados (más tarde Grupo Cydsa) inicia el desarrollo químico del norte del país con la fabricación de acetato de celulosa, rayón, cloro/sosa,

ácido sulfúrico y bisulfuro de carbono necesario para la producción de sus fibras.

La producción de *bióxido de titanio* se introdujo en México desde 1960, con Dupont. Su utilización ha sido importante en la industria de pigmentos.

4.10.1. Metodología para estimar las emisiones de CH₄, N₂O, NO_x, COVDM CO y SO₂

Las emisiones de CH₄, NO_x, COVDM, CO y SO₂, se calcularon en función del volumen de producción de químicos. Para ello, se tomaron en cuenta los factores de emisión por defecto, propuestos por las *Directrices del PICC*, 1996, puesto que no se cuenta con información sobre los factores de emisión medidos directamente en las industrias del país.

Los datos de producción se recopilaron de estadísticas nacionales sobre la producción de petroquímicos básicos, producción petroquímica secundaria y petroquímica intermedia, así como de datos sobre la elaboración de resinas sintéticas, productos nitrogenados y fabricación de colorantes y pigmentos inorgánicos.

Las tablas 4.27 y 4.28 muestran la producción de químicos desde 1990. Los productos que se elaboran

⁸ PEMEX / Producción de petroquímicos básicos + producción del sector privado.

⁹ PEMEX / Producción de petroquímicos + producción del sector privado.

TABLA 4.28 PRODUCCIÓN EN LAS INDUSTRIAS QUÍMICAS, TONELADAS

AÑO PRODUCTO	1990	1992	1994	1996	1998	2000	2002
Acrilonitrilo	122,300	166,200	161,300	172,600	130,200	124,500	61,000
Resinas de acrilonitrilo butadieno estireno (ABS) ¹⁰	16,100	44,300	40,000	60,000	60,000	116,030	244,373
Negro de humo	125,300	89,800	84,400	107,800	119,769	114,321	86,099
Etilbenceno	174,000	164,000	160,000	161,000	143,000	158,000	140,000
Etileno y propileno	1,732,500	1,825,700	1,680,700	1,830,100	1,541,200	285,631	293,326
Formaldehído ¹¹	106,800	98,200	102,600	117,600	130,783	129,550	106,542
Grafito	24,916	31,470	30,863	40,412	43,461	30,330	13,885
Anhídrido ftálico	75,500	70,600	59,400	63,000	53,650	64,752	61,900
Polipropileno	-	69,300	75,900	88,900	223,409	205,788	207,083
Poliestireno	123,500	114,900	128,000	142,800	283,104	357,900	336,505
Polieteno – Baja densidad	348,000	355,000	341,000	336,000	313,000	272,000	284,000
Polieteno – Elevada dens.	176,000	220,000	202,000	192,000	184,000	174,000	147,000
Cloruro de polivinilo	318,800	407,200	372,600	386,000	416,891	491,380	476,324
Estireno	139,000	142,000	143,000	147,000	128,000	144,000	128,000
Butadieno estireno ¹²	104,100	103,300	116,900,	135,800	150,900	164,991	163,949
1,2, dicloroetano	394,100	386,100	356,300	319,000	312,000	302,300	253,000
Ácido Sulfúrico	3,988,000	3,433,000	2,540,000	3,367,000	3,934,000	4,100,000	
Dióxido de titanio	65,684	74,304	100,276	ND	ND	ND	ND
Urea ¹³	1,415,000	1,536,700	671,027	1,847,,878	894,061	0	43,155
Cloruro de vinilo	230,700	224,300	212,100	182,200	196,100	184,300	158,000

Fuente: Anuario Estadístico de PEMEX. Ediciones 2000-2004.

Serie de Estadísticas Sectoriales. La Industria Química en México. Ediciones 1995, 2000-2004. INEGI.

Anuario Estadístico de los Estados Unidos Mexicanos. Ediciones 2000-2004. INEGI.

TABLA 4.29 EMISIÓN DE CH₄ PROCEDENTE DE LA FABRICACIÓN DE OTROS PRODUCTOS QUÍMICOS, Gg

PRODUCTO	Año							
	F. DE EMISIÓN	1990	1992	1994	1996	1998	2000	2002
Negro de humo	11	1.38	0.99	0.93	1.19	1.32	1.26	0.95
Etileno	1	1.37	1.48	1.32	1.34	1.26	1.16	0.99
Dicloroetileno	0.4	0.16	0.15	0.14	0.13	0.12	0.12	0.10
Estireno	4	0.63	0.64	0.65	0.62	0.51	0.57	0.51
Metanol	2	0.42	0.40	0.37	0.42	0.39	0.38	0.34
Coque	0.5	1.17	1.02	0.99	1.09	1.10	1.12	0.73
Total de emisiones por producto		5.13	4.68	4.40	4.79	4.70	4.61	3.62

¹⁰ Para el periodo de 1994 a 1998 se toma el nivel máximo de producción

¹¹ 37 %

¹² Se considera la producción de hules y látex

¹³ Debido a los altos costos de producción, a partir del año 2000 se importó este producto

TABLA 4.30 EMISIONES DE COVDM PROCEDENTES DE DIVERSOS PROCESOS DE PRODUCCIÓN EN LA INDUSTRIA QUÍMICA, Gg

PRODUCTO	F. DE EMISIÓN	AÑO						
		1990	1992	1994	1996	1998	2000	2002
Acrilonitrilo	1	0.12	0.17	0.16	0.17	0.13	0.12	0.06
Resinas de acrilonitrilo butadieno estireno (ABS)	27.2	0.44	1.20	1.09	1.63	1.63	3.16	6.65
Negro de humo	40	5.01	3.59	3.38	4.31	4.79	4.57	3.44
Etilbenceno	2	0.35	0.33	0.32	0.32	0.29	0.32	0.28
Etileno y propileno	1.4	2.43	2.56	2.35	2.56	2.16	0.40	0.41
Formaldehído	5	0.53	0.49	0.51	0.59	0.65	0.65	0.53
Grafito	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Anhídrido ftálico	6.0	0.45	0.42	0.36	0.38	0.32	0.39	0.37
Polipropileno	12	ND	0.83	0.91	1.07	2.68	2.47	2.48
Poliestireno	5.4	0.67	0.62	0.69	0.77	1.53	1.93	1.82
Polietileno – Baja densidad	3	1.04	1.07	1.02	1.01	0.94	0.82	0.85
Polietileno – Elevada densidad	6.4	1.13	1.41	1.29	1.23	1.18	1.11	0.94
Cloruro de polivinilo	8.5	2.71	3.46	3.17	3.28	3.54	4.18	4.05
Estireno	18	2.50	2.56	2.57	2.65	2.30	2.59	2.30
Butadieno estireno	14.3 ¹⁴	1.49	1.48	1.67	1.94	2.16	2.36	2.35
1,2, dicloroetano	7.3	2.88	2.82	2.60	2.33	2.28	2.21	1.85
Urea	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
1,2 dicloroetano	2.2	0.70	0.90	0.82	0.85	0.92	1.08	1.05
Total de emisiones		22.45	23.90	22.92	25.09	27.50	28.35	29.44

¹⁴ Látices butadieno estireno: Argentina PNUD – SECYT, 1997

en mayores cantidades son: el etileno y propileno, coque, ácido sulfúrico y urea (este químico utilizado como fertilizante, actualmente no se produce en el país). En general la producción de químicos no presenta variaciones importantes desde 1990.

Las emisiones de CH₄ han disminuido aproximadamente en forma progresiva, aunque no en forma importante, especialmente entre 1990 y el 2000. La disminución más importante se produjo en el año 2002. Entre el año 1990 y el año 2000 se obtuvo un decremento del 10%, mientras el decremento fue del 29% entre 1990 y el 2002. Entre el año 1998 y el año 2002 las emisiones de CH₄ disminuyeron un 23%.

Las emisiones de CO y de NO_x, procedentes de la elaboración de productos químicos, son mínimas. En el caso del CO, sus emisiones entre 1990 y 2002 va-

riaron entre 0.844 y 1.25 gigagramos. Las emisiones de NO_x variaron, en el mismo período, entre 0.034 y 0.050 gigagramos.

Las emisiones de COVDM procedentes de los diversos procesos de producción en las Industrias Químicas, tuvieron variaciones, entre 1990 y 2002, entre 22.45 y 29.44 Gg. Para el período entre el año 1990 y el año 2000 las emisiones crecieron en un 31%. Entre el año 1998 y el año 2002 las emisiones de COVDM aumentaron un 7%.

Las emisiones de SO₂ procedentes de los diversos procesos de producción en la Industrias Químicas variaron, entre 46.18 y 72.10 Gg, entre los años 1990 y 2002. Estas emisiones provienen, esencialmente, de la producción de ácido sulfúrico, cercana a los 4 millones de toneladas por año, y son las más importantes en este sector.

TABLA 4.31 EMISIONES DE NO_x, PROCEDENTES DE DIVERSOS PROCESOS DE PRODUCCIÓN EN LA INDUSTRIA QUÍMICA, Gg

PRODUCTO	AÑO							
	F. DE EMISIÓN	1990	1992	1994	1996	1998	2000	2002
Negro de humo	0.4	0.050	0.036	0.034	0.043	0.048	0.046	0.034
Urea	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Total de emisiones por producto		0.050	0.036	0.034	0.043	0.048	0.046	0.034

TABLA 4.32 EMISIONES DE CO PROCEDENTES DE DIVERSOS PROCESOS DE PRODUCCIÓN EN LA INDUSTRIA QUÍMICA, Gg

PRODUCTO	AÑO							
	F. DE EMISIÓN	1990	1992	1994	1996	1998	2000	2002
Negro de humo	10	1.253	0.898	0.844	1.078	1.198	1.143	0.861
Urea	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Total de emisiones por producto		1.253	0.898	0.844	1.078	1.198	1.143	0.861

TABLA 4.33 EMISIONES DE SO₂ PROCEDENTES DE DIVERSOS PROCESOS DE PRODUCCIÓN EN LA INDUSTRIA QUÍMICA, Gg

RODUCTO	AÑO							
	F. DE EMISIÓN	1990	1992	1994	1996	1998	2000	2002
Negro de humo	3.1	0.39	0.28	0.26	0.33	0.37	0.35	0.27
Ácido Sulfúrico	17.5	69.79	60.08	44.45	58.92	68.85	71.75	ND
Dióxido de titanio	14.6	0.96	1.08	1.46	ND	ND	ND	ND
Urea	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Total de emisiones por producto		71.14	61.44	46.18	59.26	69.22	72.10	0.27

4.10.2. Incertidumbre

La incertidumbre asociada a la estimación de las emisiones de diversos procesos en la industria química depende, básicamente, de la incertidumbre en el factor de emisión. En este caso, la incertidumbre es de los factores utilizados por defecto, y se incrementa por el hecho de que en México no se reportan mediciones directas en la industria química.

4.10.3. Propuesta de mejora

Las estimaciones de emisiones en este sector pueden mejorarse con una relación más estrecha con la industria y/o asociaciones relacionadas con este sector (como la Asociación de la Industria Química en México, ANIQ), con el objeto de detectar factores de emisión medidos en el país, así como factores de emisión no disponibles en los datos por defecto reportados

en el Libro de Trabajo para el Inventario de Gases de Efecto Invernadero.

4.11. Producción de metales [2C]

4.11.1. Hierro y acero [2C1]

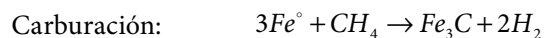
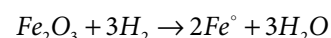
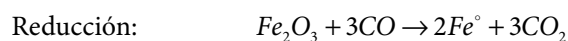
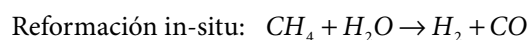
Con la infraestructura actual de la industria siderúrgica nacional, las empresas integradas producen arrabio para acería mediante la tecnología de *Alto Horno*, e hierro esponja, aprovechando la tecnología de *Reducción directa*. Las estadísticas de la industria siderúrgica no reportan producción de arrabio para fundición.

En el alto horno, el mineral de hierro se mezcla con el coque y la caliza a temperaturas elevadas. Estos materiales se cargan por la parte superior del horno. Por las toberas se inyecta el aire caliente que enciende el coque y libera el CO necesario para reducir al óxido de hierro. El arrabio, producto final del alto horno, se colecta por una piqueta en la parte inferior. Este tipo de horno es el que tienen actualmente la Siderúrgica Lázaro Cárdenas Las Truchas (SICARTSA), en la costa del Pacífico de Michoacán; Altos Hornos de México (AHMSA), en Coahuila; y el que tenía la Fundidora de Monterrey que cerró hace algunos años. SICARTSA utiliza también un Horno Oxícúpula en el que se funde chatarra para producir hierro bruto^{14, 15}.

Durante años se ha cuestionado el uso de altos hornos. En el siglo pasado se propusieron y patentaron muchos métodos para reducir los minerales de hierro directamente en estado sólido. Se sugería el uso de mezclas de gases de hidrógeno, monóxido de carbono o hidrocarburos, por su alto poder desoxidante. Varios de esos métodos eran técnicamente eficaces pero no competían económicamente con el alto horno. Un gran avance tecnológico se generó en México; en 1957 la empresa HYLSA introdujo un proceso revolucionario, que veinte años después de introducirlo en su

primera fábrica en Monterrey, se había extendido por todo el mundo⁶.

El proceso HYL utiliza una mezcla rica en H₂ y CO para extraer el oxígeno del mineral de hierro. La mezcla de gases se genera a partir de gas natural y vapor de agua en un reformador, a altas temperaturas, y con ayuda de catalizadores que se ponen en el interior de los tubos. Las principales reacciones químicas que se producen en este proceso son^{6, 16}:



El hidrógeno y el monóxido de carbono, agentes reductores sumamente efectivos, salen del reformador acompañados de pequeñas cantidades de gas natural y CO₂.

En una segunda etapa, el proceso de acería para la fabricación de acero crudo, el hierro reducido en los altos hornos o en horno oxícúpula se mezcla con carbón e insumos básicos para formar acero líquido en un *Convertidor de Oxígeno*. El hierro esponja se convierte en acero líquido en un *Horno de Arco Eléctrico*, el cual funde al hierro esponja, y a la chatarra que generalmente se agrega, haciendo pasar por ellos enormes cantidades de energía eléctrica. Al acero líquido se le pueden agregar aleantes como el Nb, Cr, Ni, Mo, W, V, Si, Al, etc.

Según su composición química, los aceros se clasifican de acuerdo a su uso en: aceros comunes al carbono y aceros aleados. La tercera etapa, con la cual concluye la acería, es la colada continua y tiene por objetivo solidificar el acero.¹⁷.

¹⁴ <http://www.mineranet.com.ar/acero2.asp>. III: La producción del Acero. © 2000 MINERANET.

¹⁵ http://www.villacero.com.mx/esp/index_esp.htm. Siderurgia y Producción. Villacero. SICARTSA.

¹⁶ <http://www.hylsa.com.mx/>. Hylsamex. Productos y Servicios. Tecnología. Proceso HYL.

¹⁷ http://www.meccon.gov.ar/cndc/conductas/hierro_redondo.pdf. Informe: Hierro redondo para construcción. Ministerio de Economía y Producción. Secretaría de Coordinación Técnica. Argentina.

Las dos tecnologías descritas, que con diferencias técnicas y económicas obtienen el mismo producto final, son las más utilizadas en el mercado Latinoamericano.

En México existen 5 empresas integradas en forma vertical, es decir, disponen de instalaciones tanto para la reducción del mineral de hierro, como para la acería y laminación. Además se cuenta con 19 empresas semi-integradas que producen acero a partir de chatarra, y con 33 empresas no integradas o relaminadoras, que fabrican laminados a partir de lingotes parcialmente laminados o algunas formas de chatarra de acero, como rieles, flechas y ejes de desecho¹⁸.

Aunado a las empresas descritas, existen empresas fabricantes de tubos, tornillos, clavos y láminas recubiertas, y tres plantas productoras de ferroleaciones, que producen materiales básicos en la fabricación del acero. En conjunto, se calcula que existen cerca de 300 empresas dedicadas a la fundición de chatarra para obtener hierros que son reutilizados industrialmente, las cuales trabajan con hornos viejos y tecnologías tradicionales¹⁰.

4.11.1.1. Metodología para estimar las emisiones de CO₂.

Las emisiones totales de CO₂ en la industria siderúrgica se estimaron siguiendo el procedimiento de nivel 2, conforme al Manual de las Buenas Prácticas para el Inventario de Gases de Efecto Invernadero.

De acuerdo con la información disponible en esta actividad, se estimaron las emisiones de dióxido de carbono siguiendo el flujo de acuerdo al árbol de decisiones, la cual indica que de toda la producción de acero en los hornos eléctricos, se suma las emisiones de los electrodos que se queman.

Las emisiones de CO₂ provenientes de la producción de arrabio en los altos hornos se estimaron a partir del consumo del agente reductor, considerando el contenido de carbono en el mineral y en el arrabio, como lo indica la ecuación 3.6.A.

Ecuación 3.6.A

$$\text{Emisiones}_{\text{arrabio}} = \text{Factor de emisión}_{\text{agente reductor}} \cdot \text{Masa del agente reductor} + (\text{Masa de carbono en el mineral} - \text{Masa de carbono en el hierro bruto}) \cdot 44/12$$

Las emisiones de CO₂ provenientes de la producción de acero bruto en los hornos de arco eléctrico se estimaron en función de la producción de hierro esponja procedente de los hornos de reducción directa, como lo indica la ecuación 3.6.B.

Ecuación 3.6.B

$$\text{Emisiones}_{\text{acero bruto}} = (\text{Masa de carbono en el hierro bruto usada para la producción} - \text{Masa de carbono en el acero bruto}) \cdot 44/12 + \text{Factor de emisión}_{\text{EAF}} \cdot \text{Masa de acero producido en EAF (hornos de arco eléctrico en inglés)}$$

Las emisiones totales de la producción siderúrgica son simplemente la suma de las dos ecuaciones 3.6.A y 3.6.B.

Ecuación 3.7

$$\text{Emisiones totales} = \text{Emisiones}_{\text{arrabio}} + \text{Emisiones}_{\text{acero bruto}}$$

1. La masa del agente reductor, usado en la producción de arrabio, se estimó a partir de datos reportados sobre el consumo de materias primas siderúrgicas; considerando la producción, importación y exportación de coque.
2. La cantidad de arrabio producido en los altos hornos y la cantidad de hierro esponja producido en los hornos de arco eléctricos, se determinaron a partir de los datos reportados sobre la producción de metales básicos siderúrgicos.
3. El contenido de carbono en el mineral de hierro se supone nulo
4. El contenido de carbono en el arrabio se considera de 4%.

¹⁸ http://www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/libros/3/estudios.html?id_pub=3. Estudios para evaluar las tecnologías contaminantes en cinco ramas industriales. Instituto Nacional de Ecología. 10/10/2002. SEMARNAT. México.

5. El contenido de carbono en el hierro esponja es de 4%, según los datos reportados por HYL SAMEX (calidad del hierro HYTEMP, hierro de reducción directa, caliente, transportado directamente al horno eléctrico de arco).¹⁷
6. La cantidad de acero bruto producido en los hornos de arco eléctrico se determinó a partir de datos reportados sobre la producción de acero por tipo de proceso y destino.
7. Se considera que el acero tiene una proporción de carbono inferior a 1.8 %, por lo que los cálculos se efectuaron con este valor (máximo).¹⁸
8. Puesto que no se cuenta con factores de emisión medidos directamente en la industria acerera en México, se han utilizado los factores por defecto de las *Directrices del PICC/1996*:
 - El factor de emisión por defecto para coque consumido como agente reductor es de 3.1 ton CO₂ / tonelada de agente reductor.
 - El factor de emisión de CO₂ en los hornos de arco eléctricos se estima en base a la pérdida del carbono procedente del electrodo. El va-

lor propuesto está entre 1 y 1.5 kg de carbono / tonelada de acero. Se consideró el límite inferior de 1 tonelada de CO₂ / tonelada de acero producido ya que HYL SAMEX, empresa representativa en el uso de este proceso en México, opera equipos y sistemas conforme a reglamentos ambientales estrictos (Eliminando CO₂)¹¹.

Las emisiones de dióxido de carbono no han presentado variaciones importantes desde 1994. Entre el año 1990 y el año 2002 se obtuvo un incremento del 33.8% en las emisiones de dióxido de carbono durante el proceso de reducción del mineral de hierro (altos hornos) y el proceso de acería (horno eléctrico). Entre el año 1998, y el año 2002 hubo un decremento de 13.5% en estas emisiones.

4.11.1.2. Metodología para estimar las emisiones de NO_x, COVDM, CO y SO₂.

Las emisiones de NO_x, COVDM, CO y SO₂ provenientes de la producción de hierro y acero se determinaron

TABLA 4.34 CONSUMO DE AGENTE REDUCTOR PARA LA PRODUCCIÓN DE HIERRO Y ACERO, TONELADAS

AÑO	CONSUMO DE AGENTE REDUCTOR EN LA PRODUCCIÓN DE ARRABIO			
	PRODUCCIÓN DE COQUE	IMPORTACIÓN DE COQUE	EXPORTACIÓN DE COQUE	CONSUMO DE COQUE
1990	2,337,159	-----	-----	2,337,159
1992	2,033,003	-----	-----	2,033,003
1994	1,984,730	673,129	76	2,657,783
1996	2,184,364	320,817	428	2,504,752
1998	2,202,558	589,439	701	2,791,296
2000	2,235,032	628,549	1,742	2,861,839
2002	1,451,091	397,509	952	1,847,648

Fuente: Anuario Estadístico de los Estados Unidos Mexicanos. Ediciones 2000-2004. INEGI. Serie de Estadísticas Sectoriales. La Industria Siderúrgica en México. Ediciones 1995, 2000-2004. INEGI.

¹⁹ <http://www.hylsa.com.mx/> Hylsamex. Productos y Servicios. Tecnología. Proceso HYL. Características y ventajas del Proceso

²⁰ Serie de Estadísticas Sectoriales. La Industria Siderúrgica en México. Ediciones 1995, 2000-2004. INEGI.

TABLA 4.35 PRODUCCIÓN DE HIERRO BRUTO POR PROCESO, TONELADAS

AÑO	PRODUCCIÓN DE ARRABIO – CARGA DE ALTOS HORNOS	PRODUCCIÓN DE HIERRO ESPONJA – HORNOS DE REDUCCIÓN DIRECTA
1990	3,664,723	2,525,196
1992	3,403,596	2,320,860
1994	3,500,780	3,216,383
1996	4,228,940	3,794,426
1998	4,531,531	5,584,032
2000	4,855,876	5,588,852
2002	3,996,297	4,740,530

Fuente: Anuario Estadístico de los Estados Unidos Mexicanos. Ediciones 2000-2004. INEGI.
Serie de Estadísticas Sectoriales. La Industria Siderúrgica en México. Ediciones 1995, 2000-2004. INEGI.

TABLA 4.36 PRODUCCIÓN DE ACERO CRUDO POR PROCESO, TONELADAS

AÑO	PRODUCCIÓN DE ACERO BRUTO – CONVERTIDOR DE OXÍGENO	PRODUCCIÓN DE ACERO BRUTO – HORNO ELÉCTRICO DE ARCO	PRODUCCIÓN TOTAL DE ACERO BRUTO
1990	3,529,733	4,491,093	8,734,219
1992	3,744,384	4,715,045	8,459,429
1994	3,834,294	6,425,815	10,260,109
1996	4,730,674	8,441,158	13,196,247
1998	4,959,683	9,258,367	14,218,050
2000	5,236,369	10,394,943	15,631,312
2002	4,116,541	9,893,875	14,010,416

Fuente: Serie de Estadísticas Sectoriales. La Industria Siderúrgica en México. Ediciones 1995, 2000-2004. INEGI.

TABLA 4.37 EMISIONES DE CO₂ PROCEDENTE DE LA PRODUCCIÓN DE HIERRO Y ACERO, Gg

FACTOR DE EMISIÓN	3.1 TON DE CO ₂ / TON AGENTE REDUCTOR	1 TON CO ₂ /TON. DE ACERO PRODUCIDO EAF	
AÑO	EMISIÓN DE CO ₂ PROCEDENTE DE LA PRODUCCIÓN DE HIERRO	EMISIÓN DE CO ₂ PROCEDENTE DE LA PRODUCCIÓN DE ACERO	EMISIONES TOTALES DE CO ₂ EN LA INDUSTRIA SIDERÚRGICA
1990	6,707.700	4,565.043	11,272.743
1992	5,803.115	4,744.245	10,547.360
1994	7,725.680	6,473.447	14,199.127
1996	7,144.487	8,440.557	15,585.044
1998	7,988.393	9,466.306	17,454.699
2000	8,159.506	10,528.575	18,688.081
2002	5,141.585	9,936.157	15,077.742

tomando la producción de hierro y acero como datos de actividad, y considerando los factores de emisión por defecto, indicados en el Manual de Referencia de las Directrices del PICC/1996.

Datos de actividad para las diferentes etapas del proceso de producción del hierro y el acero:

1. Producción de hierro – carga de altos hornos. Se toman como datos de actividad, la producción de arrabio procedente de altos hornos (tabla 4.35).

2. Producción de hierro - colada de mineral de hierro. Los datos de actividad conciernen a la producción de arrabio (hierro colado) (tabla 4.35).

3. Fabricación de acero – Laminadores. Los factores de emisión indicados en el Libro de Trabajo para el inventario de gases de efecto invernadero están relacionados con el proceso de laminado en frío²¹; por lo tanto se toma como datos de actividad la fabricación de acero laminado en frío (lámina en frío y lámina de acero inoxidable).

TABLA 4.38 PRODUCCIÓN DE LAMINADOS EN FRÍO, TONELADAS

AÑO	PRODUCCIÓN DE LÁMINA EN FRÍO	PRODUCCIÓN DE LÁMINA DE ACERO INOXIDABLE	PRODUCCIÓN DE LAMINADOS EN FRÍO
1990	1,154,759	113,246*	1,268,005
1992	1,076,004	106,815*	1,182,820
1994	1,061,113	111,436	1,172,549
1996	1,752,905	140,283	1,893,188
1998	2,080,740	190,953	2,271,693
2000	2,118,869	196,515	2,315,384
2002	1,933,519	186,126	2,119,645

Fuente: Serie de Estadísticas Sectoriales. La Industria Siderúrgica en México. Ediciones 1995, 2000-2004. INEGI.

* Estimados por extrapolación

TABLA 4.39 EMISIÓN DE NO_x PROCEDENTE DE LA PRODUCCIÓN DE HIERRO Y ACERO, GG

FACTOR DE EMISIÓN	76 G / TONELADA PRODUCIDA	40 G / TONELADA PRODUCIDA
AÑO	FUENTE: PRODUCCIÓN DE HIERRO – COLADA DE MINERAL DE HIERRO	FUENTE: FABRICACIÓN DEL ACERO – LAMINADORES
1990	0.2785	0.0507
1992	0.2587	0.0473
1994	0.2661	0.0469
1996	0.3214	0.0757
1998	0.3444	0.0909
2000	0.3690	0.0926
2002	0.3037	0.0848

²¹ Emisión Inventory Guidebook. February 1996. Processes in Iron & Steel Industries & Collieries. Rolling Mills.

TABLA 4.40 EMISIÓN DE COVDM PROCEDENTE DE LA PRODUCCIÓN DE HIERRO Y ACERO, Gg

FACTOR DE EMISIÓN	100 G / TONELADA PRODUCIDA	20 G / TONELADA PRODUCIDA	30 G / TONELADA PRODUCIDA
AÑO	PRODUCCIÓN DE HIERRO – CARGA DE ALTOS HORNOS	FABRICACIÓN DE HIERRO – COLADA DE MINERAL DE HIERRO	FABRICACIÓN DEL ACERO - LAMINADORES
1990	0.3665	0.0733	0.0380
1992	0.3404	0.0681	0.0355
1994	0.3501	0.0700	0.0352
1996	0.4229	0.0846	0.0568
1998	0.4532	0.0906	0.0682
2000	0.4856	0.0971	0.0695
2002	0.3996	0.0799	0.0636

TABLA 4.41 EMISIÓN DE CO PROCEDENTE DE LA PRODUCCIÓN DE HIERRO Y ACERO, Gg

FACTOR DE EMISIÓN	1300 G / TONELADA PRODUCIDA	112 G / TONELADA PRODUCIDA	1 G / TONELADA PRODUCIDA
AÑO	PRODUCCIÓN DE HIERRO – CARGA DE ALTOS HORNOS	FABRICACIÓN DE HIERRO – COLADA DE MINERAL DE HIERRO	FABRICACIÓN DEL ACERO - LAMINADORES
1990	4.7641	0.4104	0.0013
1992	4.4247	0.3812	0.0012
1994	4.5510	0.3921	0.0012
1996	5.4976	0.4736	0.0019
1998	5.8910	0.5075	0.0023
2000	6.3126	0.5439	0.0023
2002	5.1952	0.4476	0.0021

TABLA 4.42 EMISIÓN DE SO₂ PROCEDENTE DE LA PRODUCCIÓN DE HIERRO Y ACERO, Gg

FACTOR DE EMISIÓN	1000-3000 ⁷ G / TONELADA PRODUCIDA	30 G / TONELADA PRODUCIDA	45 G / TONELADA PRODUCIDA
AÑO	PRODUCCIÓN DE HIERRO – CARGA DE ALTOS HORNOS	FABRICACIÓN DE HIERRO – COLADA DE MINERAL DE HIERRO	FABRICACIÓN DEL ACERO - LAMINADORES
1990	7.3294	0.1099	0.0571
1992	6.8072	0.1021	0.0532
1994	7.0016	0.1050	0.0528
1996	8.4579	0.1269	0.0852
1998	9.0631	0.1359	0.1022
2000	9.7118	0.1457	0.1042
2002	7.9926	0.1199	0.0954

TABLA 4.43 RESUMEN DE EMISIONES PROCEDENTES
DE LA PRODUCCIÓN DE HIERRO Y ACERO, GG

Año	CO ₂	NO _x	COVDM	CO	SO ₂
1990	11,272.743	0.3292	0.4778	5.18	7.50
1992	10,547.360	0.3060	0.4439	4.81	6.96
1994	14,199.127	0.3130	0.4553	4.94	7.16
1996	15,585.044	0.3971	0.5643	5.97	8.67
1998	17,554.699	0.4353	0.6119	6.40	9.30
2000	18,688.081	0.4617	0.6522	6.86	9.96
2002	15,077.742	0.3885	0.5431	5.64	8.21

No existe una variación importante de emisiones de gases de efecto invernadero en la industria siderúrgica desde 1990. Sin embargo, podemos observar que en el 2002 se tuvo una reducción promedio del 14% en las emisiones de los gases de efecto invernadero, con respecto al año 1998.

4.11.1.3. Incertidumbre

Las emisiones de dióxido de carbono dependen del tipo de procedimiento utilizado para reducir el mineral de hierro. Debido a que no se tienen factores de emisión medidos en las plantas o representativos del país, la incertidumbre asociada a estos factores se incrementa. La incertidumbre también puede verse afectada porque no se considera la cantidad de chatarra que se alimenta a los hornos en los diferentes procesos, ni su contenido de carbono.

4.11.1.4. Propuesta de mejora

La información sobre el volumen de producción debería ser complementada con datos de los requerimientos de materia prima, desglosados. En cuanto a este punto, es importante remarcar que los censos industriales del INEGI proporcionan información parcial de este tipo para diferentes sectores; sin embargo, esta información no siempre está desglosada en la forma requerida para este inventario.

4.11.2. Ferroaleaciones [2C2]

Las ferroaleaciones contienen entre un 20 y un 80% del elemento de aleación. Entre los principales elementos de aleación se encuentran el manganeso (en la producción de acero y hierro fundido), el silicio (para desoxidación del acero y como aleante) y el cromo (en la producción de acero inoxidable).

Las estadísticas de producción en México reportan la producción de ferromanganeso y ferrosilicio. Aparentemente la producción de otras ferroaleaciones comunes y especiales se producen en cantidades muy pequeñas y además, estos datos no están disponibles desde 1992 (tabla 4.44¹⁵).

4.11.2.1. Metodología

La emisión de CO₂ se calcula en función de la producción de ferroaleaciones. Para los cálculos, se tomaron en cuenta los factores de emisión dados por defecto de 1.6 ton / tonelada producida de ferromanganeso y de 1.7 ton / tonelada producida de silicomanganeso, propuestos por las *Directrices del IPCC*, 1996, ya que no se cuenta con información sobre los factores de emisión medidos directamente en la industria del país.

1. Los datos de producción de ferroaleaciones se recopilaron de estadísticas nacionales sobre la producción de metales básicos siderúrgicos.

La producción de ferromanganeso ha disminuido casi progresivamente. De 1990 al 2002 disminuyó en

4.11.3. Aluminio [2C3]

En México, el único productor de aluminio primario hasta agosto del 2003 fue Almexa Aluminio, en su planta Aluder, ubicada en Veracruz. Almexa formaba parte de Nacobre, subsidiaria del grupo Carso (Gcarso). El consejo administrativo de Gcarso decidió cerrar definitivamente la fabricación de aluminio primario debido a un fuerte incremento en el costo de la energía eléctrica, y por lo tanto en el costo de producción. La empresa mantiene actividades de transformación, pero con aluminio primario importado.²²

Las estadísticas de producción, nacionales e internacionales, reportan el volumen de producción de aluminio primario en México hasta el 2003; por lo que en el presente reporte se estiman las emisiones de gases de efecto invernadero provenientes de esta actividad, hasta el 2002.

Actualmente, a nivel industrial, se usa el método **Bayer** para el beneficio de la bauxita con buenos resultados económicos. Además, la metalurgia de posibles sustitutos de la bauxita para la obtención de aluminio no ha sido optimizada aún. Por otro lado, la **reducción electrolítica** para procesar alúmina, se ha impuesto en aproximadamente 150 empresas alrededor del mundo. Almexa utilizaba estos dos procesos en su planta de producción de aluminio primario. En los siguientes párrafos se describe el proceso de transformación bauxita-aluminio primario.²³

El proceso de obtención de aluminio^{24, 25} comienza con la extracción de bauxita a cielo abierto. Los minerales más ricos se utilizan tal como se extraen. Los de baja ley pueden beneficiarse mediante machaqueo y lavado para eliminar la arcilla y sílice estériles.

La segunda etapa es la refinación de la bauxita por un proceso químico, el **proceso Bayer**, el cual consta de las siguientes operaciones:

- a. Digestión, donde el mineral se combina con sosa cáustica a temperatura y presión elevadas, dando origen a un hidrato.
- b. Decantación para separar los residuos contenidos en el hidrato, y el lavado para separar la sosa cáustica de los residuos.
- c. Precipitación por un proceso de cristalización, seguido por filtración y enfriamiento.
- d. Calcinación para obtener la alúmina en un horno de lecho fluidizado.

La tercera etapa en el proceso de transformación es la reducción de la alúmina en aluminio. El método de reducción comercialmente empleado es el **Hall-Héroult** (reducción electrolítica). La alúmina se disuelve en un baño de criolita (Na_3AlF_6) a 950°C , en grandes hornos, por medio de una corriente eléctrica que pasa a través del baño, entre los ánodos de carbono y los cátodos. El aluminio se junta al cátodo y se precipita en el fondo del horno. Posteriormente se aspira con un crisol al vacío. El oxígeno de la alúmina se combina con el carbono del ánodo, siendo expulsado como monóxido ó dióxido de carbono.

Existen dos procesos de reposición de ánodos de carbono: el método **Söderberg** (HSS – de barra horizontal, VSS de barra vertical) y el método de **ánodos precocidos** (SWPB – precocido lateral, CWPB – precocido central). El método Söderberg consiste en alimentar continuamente al horno una pasta de carbono. El calor funde esta pasta a medida que entra en el horno, generando un ánodo de renovación continua. El método de ánodos precocidos consiste en la producción separada de los ánodos sólidos. Estos se reponen a medida que son consumidos por el proceso.

No se encontró información que indicara qué tipo de proceso para la reposición de ánodos utilizaba ALMEXA, sin embargo se estima que en el 2002, el 73%

²² http://banamex.com/esp/pdf_bin/semana_bursatil/2003_0808_bb.pdf. Banamex, citygroup. Departamento de análisis. La semana Bursátil, del 4 al 8 de agosto del 2003.

²³ <http://aac.aluminium.qc.ca/anglais/environment/environnement.html>. Aluminium and Environment. Association de l'Aluminium du Canada.

²⁴ <http://www.mtas.es/insht/EncOIT/pdf/tomo3/82.pdf>. Michael McCann. Industrias Manufactureras. Metalurgia y Metalistería. Ministerio de Trabajo Asuntos Sociales. España.

²⁵ <http://www.eclac.cl/publicaciones/DesarrolloProductivo/0/LCL1570P/LCL1570.pdf>. Jorge Chami Batista. Estrategia de desarrollo de clusters basados en recursos naturales: el caso de la bauxita en el norte de Brasil. Comisión económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).

de la producción mundial de aluminio se realizó con celdas de ánodos precocidos, el 19% con celdas Söderberg de barra vertical (VSS), y 8% con celdas Söderberg de barra horizontal (HSS)²⁴. Por esta razón, la estimación de las emisiones de dióxido de carbono y de PFC se hará considerando el método de *ánodos precocidos*.

4.11.3.1. Metodología para estimar las emisiones de CO₂.

Las emisiones totales de CO₂ en la industria primaria del aluminio se estimaron siguiendo el procedimiento del **nivel 1b**, conforme al Libro de Trabajo para el Inventario de Gases de Efecto Invernadero.

Las emisiones de CO₂ provenientes de la producción de aluminio primario se calcularon a partir del volumen de producción del metal primario. Puesto que no se cuenta con factores de emisión medidos directamente en las fábricas, se han utilizado los factores por defecto de las *Directrices del PICC*: 1.5 ton CO₂ / tonelada de producto, para el proceso de ánodo precocido.

La diferencia máxima entre las emisiones de dióxido de carbono se obtiene comparando los años de 1990 y 1992; entre estos años hubo un decremento de 63%. En el 2002 se observó una reducción del 42%

TABLA 4.46 PRODUCCIÓN DE ALUMINIO, TONELADAS

AÑO	PRODUCCIÓN DE ALUMINIO PRIMARIO
1990	67,500
1992	24,800
1994	ND,*
1996	61,458
1998	61,848
2000	61,200
2002	39,000

Fuente: Anuario Estadístico de la Minería Mexicana 2003. Edición 2004. COREMI.

United States Geological Survey Commodities

* ND: no disponible

TABLA 4.47 EMISIÓN DE CO₂ PROCEDENTE DE LA PRODUCCIÓN DE ALUMINIO, GG

FACTOR DE EMISIÓN	1.5 TON DE CO ₂ / TON DE PRODUCTO
AÑO	PROCESO DE ÁNODO PRECOCIDO
1990	101.250
1992	37.200
1994	ND *
1996	92.187
1998	92.772
2000	91.800
2002	58.500

con respecto a las emisiones de 1990 (valor máximo), un incremento del 57% con respecto a las emisiones de 1992 (valor mínimo), y una disminución de 37% con respecto al año 1998, actualización anterior del inventario.

4.11.3.2. Metodología para estimar las emisiones de PFC.

Las emisiones totales de PFC en la industria primaria del aluminio se estimaron siguiendo el procedimiento del **nivel 1c**, según el Libro de Trabajo para el Inventario de Gases de Efecto Invernadero.

Debido a que no se cuenta con información que permita excluir alguna de las variantes del método de ánodo precocido (SWPB y CWPB), no es posible evaluar el factor de emisión adecuado para estimar las emisiones de PFC. Por lo tanto, estos cálculos estarán en función del factor de emisión por defecto que se refiere al promedio ponderado para todas las fábricas en todo el mundo.

El volumen de producción de aluminio primario es nuevamente el dato de actividad. El factor de emisión es de 1.4 kg de CF₄ / tonelada de aluminio. El valor por defecto de la tasa de emisiones de C₂F₆ es 1/10 de la de CF₄.

²⁶ <http://www.alcorus.ru/articles.en.html>. Alcorus Engineering Ltd. fecha de revisión del sitio: 15.agosto.2005.

De acuerdo al árbol de decisiones, no indica estimar las emisiones de fundiciones multiplicando el factor de emisión por la producción de la fundición en el tiempo.

Las emisiones de PFC son 1000 veces menores a las emisiones de dióxido de carbono. Sin embargo, como los potenciales globales de calentamientos (GWP) son de 6,500 y 9,200 para el CF₄ y para el C₂F₆, respectivamente, estas emisiones se hacen relevantes.

4.11.3.3. Metodología para estimar las mediciones de NO_x, CO y SO₂.

Las emisiones de NO_x, CO y SO₂ provienen del proceso de producción (Electrólisis) y de la cocción de los

ánodos. No se establece ninguna distinción entre el método de Söderberg y el de precocido. Puesto que no se cuenta con factores de emisión medidos directamente en las fábricas, se han utilizado los factores por defecto para cada etapa del proceso.

Comparación del factor de emisión, se puede concluir que las cantidades de NO_x y SO₂ provenientes de la etapa de cocción del ánodo son menores que en el proceso de electrólisis, a diferencia de las emisiones de CO, que son tres veces mayores en el proceso de Electrólisis. Por otro lado, las emisiones de CO son aproximadamente 30 veces mayores que las emisiones de SO₂, 200 veces mayores que las emisiones de NO_x, y 3 veces menores que las emisiones de CO₂.

TABLA 4.48 EMISIONES DE CF₄ Y C₂F₆ PROCEDENTES DE LA PRODUCCIÓN DE ALUMINIO, GG

AÑO	PROMEDIO PONDERADO PARA TODAS LAS FÁBRICAS EN TODO EL MUNDO. CF ₄	PROMEDIO PONDERADO PARA TODAS LAS FÁBRICAS EN TODO EL MUNDO. C ₂ F ₆
1990	0.0945	0.0095
1992	0.0347	0.0035
1994	ND*	ND*
1996	0.0860	0.0086
1998	0.0866	0.0087
2000	0.0857	0.0086
2002	0.0546	0.0055

TABLA 4.49 EMISIONES DE CF₄ PROCEDENTE DE LA PRODUCCIÓN DE ALUMINIO, GIGAGRAMOS DE CO₂ EQUIVALENTE Y EN MILLONES DE TONELADAS DE CARBONO EQUIVALENTE (MMTCE, SIGLAS EN INGLÉS)

AÑO	GG DE CF ₄	GG DE CO ₂ EQUIVALENTE	MMTCE
	PROMEDIO PONDERADO PARA TODAS LAS FÁBRICAS EN TODO EL MUNDO	PROMEDIO PONDERADO PARA TODAS LAS FÁBRICAS EN TODO EL MUNDO	
1990	0.0945	614	0.167
1992	0.0347	224	0.061
1994	ND*	ND*	ND
1996	0.0860	559	0.152
1998	0.0866	563	0.153
2000	0.0857	557	0.152
2002	0.0546	355	0.097

TABLA 4.50 EMISIONES DE C₂F₆ PROCEDENTE DE LA PRODUCCIÓN DE ALUMINIO, GIGAGRAMOS DE CO₂ EQUIVALENTE Y EN MILLONES DE TONELADAS DE CARBONO EQUIVALENTE (MMTCE, SIGLAS EN INGLÉS)

AÑO	0.14 KG DE C ₂ F ₆ / TON DE ALUMINIO	GG DE CO ₂ EQUIVALENTE	MMTCE
	PROMEDIO PONDERADO PARA TODAS LAS FÁBRICAS EN TODO EL MUNDO	PROMEDIO PONDERADO PARA TODAS LAS FÁBRICAS EN TODO EL MUNDO	
1990	0.00945	86.94	0.024
1992	0.0035	32.2	0.009
1994	ND*	ND	ND
1996	0.00860	79.12	0.021
1998	0.0087	80.04	0.021
2000	0.0086	79.12	0.021
2002	0.0055	50.6	0.014

TABLA 4.51 EMISIÓN DE NO_x PROCEDENTE DE LA PRODUCCIÓN DE ALUMINIO, GIGAGRAMOS

FACTOR DE EMISIÓN	2.15 KG. DE NO _x / TONELADA DE ALUMINIO	INS *	TOTAL DE EMISIONES NO _x
AÑO	ELECTRÓLISIS	COCCIÓN DEL ÁNODO	
1990	0.145	INS	0.145
1992	0.053	INS	0.053
1994	ND*	INS	ND*
1996	0.132	INS	0.132
1998	0.133	INS	0.133
2000	0.132	INS	0.132
2002	0.084	INS	0.084

* INS= insignificante

TABLA 4.52 EMISIÓN DE CO PROCEDENTE DE LA PRODUCCIÓN DE ALUMINIO, Gg

FACTOR DE EMISIÓN	135 KG DE CO / TONELADA DE ALUMINIO	400 KG DE CO / TONELADA DE ALUMINIO	TOTAL DE EMISIONES CO Gg
AÑO	ELECTRÓLISIS Gg	COCCIÓN DEL ÁNODO Gg	
1990	9.113	27.000	36.113
1992	3.348	9.920	13.268
1994	ND*	ND*	ND*
1996	8.297	24.583	32.880
1998	8.349	24.739	33.089
2000	8.262	24.480	32.742
2002	5.265	15.600	20.865

TABLA 4.53 EMISIÓN DE SO₂ PROCEDENTE DE LA PRODUCCIÓN DE ALUMINIO, GG

FACTOR DE EMISIÓN	14.2 KG DE SO ₂ / TONELADA DE ALUMINIO	0.9 KG DE SO ₂ / TONELADA DE ALUMINIO	TOTAL DE EMISIONES SO ₂ GG
AÑO	ELECTRÓLISIS GG	COCCIÓN DEL ÁNODO GG	
1990	0.959	0.061	1.019
1992	0.352	0.022	0.374
1994	ND*	ND*	ND*
1996	0.873	0.055	0.928
1998	0.878	0.056	0.934
2000	0.869	0.055	0.924
2002	0.554	0.035	0.589

4.11.3.4. Incertidumbre

La incertidumbre asociada a la estimación de las emisiones de dióxido de carbono depende básicamente de la incertidumbre en el factor de emisión. En este caso, la incertidumbre es de los factores utilizados por defecto, se incrementa por el hecho de que en México no se reportan mediciones directas en las plantas productoras de aluminio.

4.11.3.5. Propuesta de mejora

Es importante localizar fuentes de información más completas sobre los métodos utilizados para la regeneración de ánodos. Puesto que actualmente no hay producción de aluminio primario en México, es más difícil obtener esta información. Una fuente de información importante en este sector es el Instituto Mexicano del Aluminio.

4.12. Industria de la pulpa y el papel [2D1]

4.12.1. Metodología

La industria del papel consume gran cantidad de sustancias químicas, como cal, cloro, sosa cáustica, carbonato de sodio, almidón, azufre y muchos otros químicos. De las cuatro diferentes tipos de pulpas de papel que se pueden obtener, la pulpa al sulfato o pul-

pa kraft es la que en mayor proporción se produce y en su proceso químico se involucran hidrólisis de la lignina a alcoholes o ácidos. También se generan mercaptanos y sulfuros.

Las emisiones de óxidos de nitrógeno, COVDM, CO y dióxido de azufre en el proceso kraft fueron estimadas a partir de Factores de Emisión dados por defecto en la metodología del PICC/1996.

Los Factores de Emisión considerados fueron: para estimación de emisiones de NO_x, COVDM, CO y SO₂, de 1.5, 3.7, 5.6 y 7 kg de gas por tonelada de pulpa de papel seca producida, respectivamente.

La cantidad de pulpa de papel producido por el proceso kraft entre los años 1998 y 2000, se incrementó únicamente en 4.6 % teniendo las emisiones de gases un incremento similar. Entre 1990 y 2002 las emisiones se incrementaron en 128 %.

4.12.2. Incertidumbre

No fue considerada la cantidad de pulpa de papel producida por el proceso de bisulfito, sobretodo para la estimación de dióxido de azufre.

4.12.3 Propuesta de mejora

Contar con un padrón de las industrias productoras de pulpa de papel y de los procesos que tienen instalados para su producción.

TABLA 4.54 PRODUCCIÓN DE PULPA DE PAPEL A PARTIR DEL PROCESO KRAFT

AÑO	PULPA DE PAPEL, TONELADAS
1990	692,490
1992	672,023
1994	1,241,780
1996	1,380,918
1998	1,513,603
2000	1,614,335
2002	1,583,433

Fuente: Banco de Información Económica (BIE), INEGI; <http://www.inegi.gob.mx>

TABLA 4.55 EMISIONES DE NO_x, COVDM, CO Y SO₂ A PARTIR DE LA PRODUCCIÓN DE PULPA DE PAPEL SECO

AÑO	NO _x , Gg	COVDM, Gg	CO, Gg	SO ₂ , Gg
1990	1.04	2.56	3.88	4.85
1992	1.00	2.48	3.76	4.70
1994	1.86	4.59	6.95	8.69
1996	2.07	5.11	7.73	9.67
1998	2.27	5.60	8.48	10.59
2000	2.42	5.97	9.04	11.30
2002	2.37	5.86	8.87	11.08

4.13. Producción de alimentos y bebidas [2D2]

- Alimentos y bebidas
- Panificación y otros alimentos

4.13.1. Metodología

La producción de bebidas alcohólicas, la panificación y la elaboración de otros productos alimenticios dan lugar a emisiones de COVDM.

La información referente a la mayoría de estos productos, ha sido obtenida del INEGI, de acuerdo a las categorías que este instituto tiene clasificadas. Posteriormente se ha realizado un agrupamiento de los diversos grupos de alimentos y bebidas para poder aplicar los factores de emisión que son considerados

en la Directrices del PICC para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero, 1996.

La información referente al azúcar, ha sido obtenida de la Cámara Nacional de la Industria Azucarera y Alcoholicera.

Los factores por grupos de alimentos y bebidas son dados en las tablas siguientes:

En las estadísticas del INEGI, las categorías no son exactamente concordantes con la clasificación de estos grupos de alimentos y bebidas, sin embargo, se seleccionaron, para su inclusión en la estimación, los procesos donde se considera existen emisiones, de acuerdo a lo expuesto en la literatura.

No se reportan la producción de whisky de ningún tipo ni tampoco la producción de coñac, por considerarse insignificante, además que sólo se reporta en INEGI, para algunos años.

TABLA 4.56 FACTORES DE EMISIÓN PARA LOS COVDM PROCEDENTES DE LA PRODUCCIÓN DE BEBIDAS ALCOHÓLICAS (KG/HL DE BEBIDAS)

BEBIDA	FACTOR DE EMISIÓN
Vino	0.08
Vino tinto	0.08
Vino Blanco	0.035
Cerveza	0.035
Bebidas alcohólicas (sin especificar)	15
Whisky de malta	15
Whisky de grano	7.5
Coñac	3.5

Nota: Hl = 100 litros

TABLA 4.57 FACTORES DE EMISIÓN PARA LOS COVDM PROCEDENTES DE LA PANIFICACIÓN Y LA ELABORACIÓN DE OTROS ALIMENTOS (KG/TONELADA)

ALIMENTOS	FACTOR DE EMISIÓN
Carne, pescados y aves	0.3
Azúcar	10
Margarina y grasas sólidas de cocina	10
Pasteles, biscochos y cereales para el desayuno	1
Pan	8
Pienso para animales	1
Tostado del café	0.55

De este modo, se llega a los estimados de producción por cada grupo, como se muestra en las siguientes tablas, donde además, se están considerando los factores de emisión para cada grupo para el cálculo de las emisiones de COVDM.

De los datos estimados de emisiones, se tiene que entre 1990 y 2002, existen variaciones pero sin una tendencia clara, aún y que la producción total ha aumentado. Esto se debe principalmente al incremento en la producción de cerveza, que tiene un factor de 0.035, y al decremento en la producción de bebidas alcohólicas sin especificar, las que tienen un factor de emisión de 15. En términos generales, de 1990 a 2002 se tuvo un decremento total de emisiones de COVDM del 21.29%

Se observa que existe un incremento total de emisiones entre 1990 y 2002, del 57.4%, lo cual obedece al incremento global, de todos los tipos de alimentos,

principalmente del azúcar y grasas sólidas comestibles, las que tienen un factor de emisiones de 10 kg de COVDM / tonelada.

4.13.2. Incertidumbre

Debido a que la clasificación de categorías en el Banco de Información de INEGI, no es exactamente concordante con la clasificación requerida por los lineamientos del IPCC, se tuvieron que efectuar algunas consideraciones respecto a los conceptos a incluir en este reporte. Sin embargo, podemos considerar que los estimados reflejan una realidad posible.

4.13.3. Propuesta de mejora

Siendo el INEGI, la principal fuente de información para la obtención de los datos correspondientes a los

TABLA 4.58 PRODUCCIÓN TOTAL DE BEBIDAS ALCOHÓLICAS, (HL)

AÑO	PRODUCCIÓN TOTAL DE BEBIDAS ALCOHÓLICAS (HL)	EMISIONES DE COVDM (Gg)
1990	41,425,410	36.69
1992	45,247,550	37.67
1994	48,486,350	42.68
1996	43,713,740	35.85
1998	49,067,640	39.36
2000	62,286,092	31.64
2002	65,907,890	28.87

Fuente: Banco de Información Económica (BIE), INEGI; <http://www.inegi.gob.mx>;

TABLA 4.59 PRODUCCIÓN TOTAL: PANIFICACIÓN Y OTROS ALIMENTOS, TONELADAS

AÑO	PRODUCCIÓN TOTAL: PANIFICACIÓN Y OTROS ALIMENTOS (TON)	EMISIONES DE COVDM (Gg)
1990	6,650,192	42.28
1992	7,623,501	47.55
1994	12,667,297	57.14
1996	10,624,709	57.02
1998	13,057,450	61.19
2000	13,917,998	63.75
2002	14,778,713	66.54

Fuente: Banco de Información Económica (BIE), INEGI; <http://www.inegi.gob.mx>; Cámara Nacional de la Industrial Azucarera y Alcohólica; <http://www.camaraazucarera.org.mx>

alimentos y bebidas, se debe establecer contacto con esta institución para proponer que la información que ellos capturan en la Encuesta Industrial Mensual, esté más acorde a lo requerido para este inventario.

4.14. Emisiones relacionadas con la producción de halocarburos (HFC, PFC) y hexafluoruro de azufre (SF₆) [2E]

En la producción de HFCs, según la metodología del IPCC, se considera que un 0.5% del producto puede ser emitido a la atmósfera, esto es equivalente a 5 kg de HFC por tonelada de producto. De acuerdo con la información obtenida, en el país no hay producción de HFCs.

4.15. Emisiones relacionadas con el consumo de halocarburos (HFC, PFC) y hexafluoruro de azufre (SF₆) [2F]

4.15.1. Consumo de HFCs

4.15.1 Metodología

Se aplica el método Nivel 1a o emisiones potenciales. En este nivel se requiere conocer, en forma anualizada, la producción, la importación, la exportación y la cantidad destruida de cada producto. Como se señaló arriba, no existe producción de estos HFCs en el país.

Las emisiones potenciales de estos halocarburos resultan de sumar a la producción las importaciones y restarles las exportaciones y lo destruido.

TABLA 4.60 IMPORTACIÓN DE HFCs, TONELADAS

HFC	1990	1992	1994	1996	1998	2000	2002
HFC - 32						5.6	11.7
HFC - 125					32.9	54.2	119.65
HFC - 134					2.08	3.1	7.1
HFC - 134a		31.04*	378.61*	1157.61*	2047.52	3463.81	3251.86
HFC - 143a					37.0	48.4	108.4
HFC - 152a				10	28	21	48

Fuente: Compañía DuPont en México y Quimobásicos, S.A. de C. V.

*Valores estimados por las compañías

TABLA 4.61 EXPORTACIÓN DE HFCs, TONELADAS

HFC	1990	1992	1994	1996	1998	2000	2002
HFC - 32							
HFC - 125					0.7	5.3	8.0
HFC - 134							
HFC - 134a			21.95	28.09	94.95	302.94	391.21
HFC - 143a					0.8	6.2	9.3
HFC - 152a					10.1	15	30.8

Fuente: Compañía DuPont en México y Quimobásicos, S.A. de C. V.

TABLA 4.62 CONSUMO NACIONAL DE HFCs, TONELADAS

HFC	1990	1992	1994	1996	1998	2000	2002
HFC - 32						5.6	11.7
HFC - 125					32.2	48.9	111.65
HFC - 134					2.08	3.1	7.1
HFC - 134a		31.04	356.66	1,129.52	1,952.57	3,160.87	2,860.65
HFC - 143a					36.2	42.2	99.1
HFC - 152a				10	17.9	6	17.2

El cálculo de emisiones potenciales de halocarburos a granel se realiza de acuerdo con la ecuación siguiente:

$$E = A + B - C - D$$

Donde:

E; emisiones potenciales de halocarburos a granel en toneladas

A; cantidad de halocarburo producida en toneladas

B; cantidad de halocarburo importado, en toneladas

C; cantidad de halocarburo exportado, en toneladas

D; cantidad de halocarburo destruido, en toneladas

3.15.2. Consumo de SF₆

El gas SF₆ se utiliza como un medio aislante en el equipo eléctrico de alta tensión y en los interruptores de potencia, tanto en sistemas de transmisión como de distribución de energía eléctrica. Las emisiones de SF₆ se estimaron a partir de los datos de equipos eléctricos

e interruptores de potencia provistos por la Subdirección de Distribución de la Comisión Federal de Electricidad, según se muestra en la tabla 4.64.

De acuerdo a la metodología, se puede asumir que las emisiones anuales de SF₆ son el 1% de la cantidad de gas total que se cargó al equipo al adquirirse. Adicionalmente, si se asume que los equipos de alta tensión con el gas aislante tienen un tiempo de vida de 30 años, entonces el 70% de SF₆ restante se emitirá al final de la vida útil del equipo.

Emisiones de SF₆ = 1% de SF₆ contenido en el equipo en el año t + 70% del equipo retirado en el año t-30.

Los datos obtenidos únicamente muestran las adquisiciones de equipo eléctrico para el período 1990-2002, pero no da cuenta del equipo que haya sido adquirido en años anteriores a 1990, ni detalla las unidades que se retiran del sistema cada año. Adicionalmente, los datos corresponden al equipo adquirido para el sistema de distribución eléctrica, pero no in-

TABLA 4.63 EMISIONES POTENCIALES DE HALOCARBURAS, TONELADAS

Año	HFC - 32	HFC -125	HFC - 134	HFC -134A	HFC -143A	HFC -152A
1990						
1992				31.04		
1994				356.66		
1996				1129.52		10.0
1998		32.2	2.1	1952.57	36.2	17.9
2000	5.6	48.9	3.1	3160.87	42.2	6.0
2002	11.7	111.6	7.1	2860.65	99.1	17.2

TABLA 4.64 CONSUMO NACIONAL DE SF₆ EN KG

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996
Número SF ₆	446	81	154	94	60	104	111
	9,957.10	1,588.10	2,639.70	1,330.00	1,072.10	1,752.80	3,392.70
	1997	1998	1999	2000	2001	2002	
Número SF ₆	83	99	137	192	540	380	
	1,476.70	2,217.60	3,172.80	5,354.10	19,066.20	10,466.40	

Fuentes: Comisión Federal de Electricidad, Subdirección de Distribución

cluye los casi 3,700 equipos adquiridos para el sistema de transmisión, u otros equipos del sistema de generación de electricidad, ya que no se tiene el desglose anual para el período contemplado. Las estimaciones no consideran la posible destrucción del gas, las fugas en el equipo o su reutilización en otros equipos, ya que esos datos se desconocen.

En la tabla siguiente se resumen las emisiones de SF₆ de 1990 al 2002. Se asume que cada equipo adquirido en cada año se conservó durante todo el periodo de análisis, por lo que las emisiones de un año se suman a las de los años siguientes. En la siguiente tabla se presentan las emisiones estimadas con la metodología PICC.

4.15.2. Incertidumbre

Dado que estas estimaciones no incluyen los equipos del sistema de transmisión, se reconoce que el cálculo subestima las emisiones reales de SF₆ del país.

4.15.3. Propuesta para mejorar

Adquirir en forma anualizada la producción, importación y exportación de HFCs, SF₆ y PFCs en el país.

En cuanto a SF₆, considerar la información de otras compañías y de otras fuentes de emisión diferentes a los aparatos eléctricos. Ver que tan posible encontrar información 30 años atrás para sumarla al total del inventario.

3.16. Resumen de emisiones de GEI y discusión de resultados

Las emisiones de CO₂ en los procesos de producción de cemento, hierro y acero y de cal representan el 74.4

TABLA 4.65 EMISIONES DE SF₆ EN TONELADAS

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996
SF ₆	0.100	0.115	0.142	0.155	0.166	0.183	0.217
	1997	1998	1999	2000	2001	2002	
SF ₆	0.232	0.254	0.286	0.340	0.530	0.635	

% de las emisiones totales de este gas por proceso industriales en el año base de 1990 y el 65 % para el año 2002.

Una de las fuentes principales de emisión de CO₂, la utilización de piedra caliza y dolomita, sí tuvo variaciones en los niveles de emisión mayores al 10% entre los años 1998 y 2000 con respecto al total. Sin embargo no conocemos la razón de este incremento en la utilización de piedra caliza y dolomita.

Otro proceso industrial que tuvo variaciones significativas en sus emisiones de dióxido de carbono fue la producción por el proceso natural de carbonato de sodio. Entre el año 1990 y 1996 hubo un decremento en las emisiones del 25%, y del año 1998 al 2000 el incremento fue del 179%.

El uso de concreto asfáltico se incrementó entre los años 1998 y 2000 en un 81%, teniendo ese mismo porcentaje de incremento en las emisiones de CO₂.

Debido a que la producción de amoníaco entre los años 1998 y 2000 se redujo casi en un 59%, las emisiones de CO₂ se vieron también disminuidas en ese porcentaje. La razón de este decremento puede estar relacionada con el cierre de plantas productoras de fertilizantes nitrogenados.

La producción de ácido nítrico en los años 1994, 2000 y 2002, sufrió fuertes depresiones y con ello las emisiones de óxido nítrico derivado de la producción de este ácido, así como la generación de emisiones de NO_x.

3.17. Conclusiones y recomendaciones

Resulta interesante observar que las emisiones del año 2002 de Procesos Industriales de CO₂, CO₂, CO₂ y SO₂, muestran incrementos tanto en relación con el año base 1990 como para el año 1998, de la anterior actualización del inventario.

Sin embargo, los gases CH₄, CO, NO_x y N₂O muestran niveles de emisión menores respecto al año base 1990.

Como recomendación se debe señalar la necesidad de invitar a directivos de empresas del sector público y privado para que participen en el inventario mediante su mejor disponibilidad a proporcionar datos de la actividad en la que cada una de estas autoridades .

TABLA 4.66 RESUMEN DE EMISIONES DE CO₂ A PARTIR DE PROCESO INDUSTRIALES EN MÉXICO, Gg

PROCESO INDUSTRIAL	1990	1992	1994	1996	1998	2000	2002
Cemento	9,450	10,368	11,981	10,634	11,630	12,608	12,619
Producción de cal	2,175	2,244	2,329	2,388	2,421	2,502	2,618
Utilización de caliza y dolomita	3,564	4,535	5,371	6,642	9,149	14,544	14,934
Producción y utilización de carbonato de sodio	213	205	205	160	160	458	447
Producción de amoniaco	3,948	4,017	3,702	3,750	2,729	1,223	1,128
Producción de carburos	-----	-----	-----	-----	63	-----	-----
Producción de Hierro y acero	11,273	10,547	14,199	15,585	17,455	18,688	15,078
Producción de ferroaleaciones	418	215	215	268	317	328	186
Producción de aluminio	101	37	ND	92	93	92	59
Totales	31,143	32,169	38,002	39,520	44,016	50,442	47,069

TABLA 4.67 RESUMEN DE EMISIONES DE SO₂ A PARTIR DE PROCESOS INDUSTRIALES, Gg

PROCESOS	1990	1992	1994	1996	1998	2000	2002
Producción de cemento	7.461	8.187	9.456	8.415	9.219	9.969	10.012
Amoniaco	0.079	0.080	0.074	0.075	0.054	0.024	0.023
Productos Químicos	71.140	61.440	46.180	59.260	69.220	72.100	72.070
Hierro y Acero	7.50	6.960	7.160	8.670	9.300	9.960	8.210
Aluminio	1.019	0.374	ND	0.928	0.934	0.924	0.589
Papel	4.850	4.700	8.690	9.670	10.590	11.300	11.800
TOTAL	92.049	81.741	71.560	87.018	99.317	104.277	102.704

TABLA 4.68 RESUMEN DE EMISIONES DE COVDM A PARTIR DE PROCESOS INDUSTRIALES, Gg

PROCESOS	1990	1992	1994	1996	1998	2000	2002
Asfaltos	288.477	320.473	424.474	245.561	261.548	475.575	387.519
Vidrio	1.614	2.0	3.1	2.9	3.3	2.7	3.0
Amoniaco	12.371	12.6	11.6	11.7	8.5	3.3	3.5
Productos Químicos	22.45	23.90	22.92	25.09	27.50	28.35	29.44
Hierro y Acero	0.478	0.444	0.455	0.564	0.612	0.652	0.543
Ind. Del papel	2.56	2.48	4.59	5.11	5.60	5.97	5.86
Bebidas Alcohólicas	36.69	37.67	42.68	35.85	39.36	31.64	28.87
Panificación y otros alimentos	42.28	47.55	57.14	57.02	61.19	63.75	66.54
Totales	406.920	447.118	566.959	383.795	407.610	611.937	525.272

TABLA 4.69 RESUMEN DE EMISIONES DE CO A PARTIR DE PROCESOS INDUSTRIALES, Gg

PROCESOS	1990	1992	1994	1996	1998	2000	2002
Asfalto	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
Amoniaco	20.8	21.1	19.5	19.7	14.4	6.4	5.9
Productos Químicos	1,253	0.898	0.844	1.078	1.198	1.143	0.861
Hierro y Acero	5.18	4.81	4.94	5.97	6.40	6.86	5.64
Aluminio	36.11	13.27	ND	32.88	33.09	32.74	20.86
Industria del papel	3.88	3.76	6.95	7.73	8.48	9.40	8.87
Total	67.225	43.84	32.236	67.36	63.57	56.545	42.133

TABLA 4.70 RESUMEN DE EMISIONES DE NO_x A PARTIR DE PROCESOS INDUSTRIALES, Gg

PROCESOS	1990	1992	1994	1996	1998	2000	2002
Ácido nítrico	3.54	2.19	0.30	7.10	4.99	1.80	0.78
Productos Químicos	0.050	0.036	0.034	0.043	0.048	0.046	0.034
Hierro y acero	0.329	0.306	0.313	0.397	0.435	0.462	0.388
Aluminio	0.145	0.053	ND	0.132	0.133	0.132	0.084
Industria del papel	1.04	1.348	2.16	2.566	2.888	3.058	2.887
Totales	5.104	3.933	2.807	10.238	8.494	5.498	4.173

TABLA 4.71 RESUMEN DE EMISIONES DE LOS DIFERENTES GASES DE EFECTO INVERNADERO, PRIMARIOS Y SECUNDARIOS POR PROCESOS INDUSTRIALES, 1990 – 2002, Gg

G E I	1990	1992	1994	1996	1998	2000	2002
CO ₂	31,142.879	32,168.761	38,001.768	39,519.713	44,016.440	50,442.143	47,069.138
CO ₂ DM	406.920	447.118	566.959	383.795	407.610	611.937	525.272
SO ₂	92.049	81.741	71.560	87.018	99.317	104.277	102.704
CO	67.225	43.84	32.236	67.36	63.57	56.545	42.133
CH ₄	5.13	4.68	4.40	4.79	4.70	4.61	3.62
NO _x	5.104	3.933	2.807	10.238	8.494	5.498	4.173
N ₂ O	1.62	1.00	0.14	3.26	2.29	0.82	0.36

Nota.- Sólo en algunas tablas resumen están redondeados los resultados por razones de espacio, y de ser más útiles en forma redondeada para tener una idea de un valor entero.

¹ PEMEX / Producción de petroquímicos básicos + producción del sector privado

² PEMEX / Producción de petroquímicos + producción del sector privado

³ Para el período de 1994 a 1998 se toma el nivel máximo de producción

⁴ 37 %

⁵ Se considera la producción de hules y látex

⁶ Debido a los altos costos de producción, a partir del año 2000 se importó este producto

⁷ Se toma un valor intermedio (2000 g / tonelada producida)

Es recomendable que industrias clave, por sus altos volúmenes de emisiones de GEI, se comprometan con los organismos oficiales reguladores de la contaminación a implementar metodología e infraestructura para realizar mediciones en todas y cada una de las fuentes de emisión con el fin de ir generando factores de emisión propios de cada actividad en el país.

Considerando que el INEGI como institución gubernamental tiene acceso a la mayoría de las fuentes

generadoras de GEI censando la producción de los diferentes procesos, se sugiere que, de ser posible, hacer la recomendación a nivel de instituciones gubernamentales, de ampliar y adecuar la información por tipos de productos, es decir que se pueda contar con un mayor desagregado de los tipos de productos de una misma fuente.

5. Solventes [3]

Los Compuestos Orgánicos Volátiles Diferentes al Metano (COVDM), son compuestos emitidos en los procesos donde se emplean solventes básicamente derivados del petróleo. Estos compuestos han sido considerados como de efecto invernadero indirecto, junto con el monóxido de carbono (CO), los óxidos de nitrógeno (NO_x), los halocarburos (HFC y PFC), el hexafluoruro de azufre (SF₆) y el dióxido de azufre (SO₂).

Los COVDM juegan un papel importante en la troposfera como generadores de ozono, que sí es un gas con efecto invernadero. Las emisiones de estos compuestos son como resultado de la evaporación de los solventes en pinturas, tintas para imprenta, adhesivos, barnices, lacas, etcétera.

Para la estimación de las emisiones en este sector, los EUA en su reporte de inventario de GEI de 1990-1996 tomaron información de la EPA's National Air Pollutant Emissions Trends, 1990-1996.

Otros países como Hungría, Letonia y Noruega desarrollaron una metodología propia para la estimación de emisiones de este sector y reportaron emisiones de CO₂ a partir del contenido de C en los COVDM.

Metodología

Los países europeos arriba mencionados consideraron las emisiones de COVDM de la misma magnitud de los solventes usados. De la naturaleza de los solventes derivan una relación C / COVDM en promedio de 0.8 que emplean para el cálculo del CO₂.

Consideran el promedio de contenido de solvente en los diferentes productos: pinturas, barnices, adhesivos, etc., obteniendo un FE promedio de 0.30 para COVDM entre los años 1985 a 2001.

Otra consideración tomada en cuenta para el establecimiento de los FE de COVDM fue la siguiente: pinturas y barnices, 0.5 t/t; tintas para imprenta, 0.65

t/t; adhesivos y pegamentos, 0.60 t/t; desengrasantes industriales, 0.85 t/t y solventes 1.00 t/t.

Para la estimación de emisiones de COVDM a partir de solventes tomaremos en cuenta la fracción estimada de éstos en los diferentes productos.

Cabe hacer la observación que en este reporte no se estimará el CO₂ que se pudiera derivar de los COVDM emitidos, así como tampoco lo estiman en el reporte de los EUA. El criterio aplicado para esto, radica en que no necesariamente todo el C contenido en los COVDM será transformado en dióxido de carbono.

La mayoría de los datos de volumen de producción de esta actividad se dan en litros, por lo que fue necesario obtener, por nosotros, una densidad promedio para cada uno de los solventes: Thiner, 0.77 kg/litro, aguarrás, 0.84 kg/litro, tinta al aceite 0.90 kg/litro, pintura en agua 1.1 kg/litro, esmalte (pintura de aceite) 0.94 kg/litro, barniz 0.92 kg/litro.

En anexo se presentan de manera desglosada (según la clasificación del INEGI) los componentes de cada clase.

Incertidumbre

El error en esta metodología está en que no se puede conocer con exactitud el contenido de solvente y su composición en los productos, por lo que, a lo más que se puede aspirar es al uso de promedios, ya que existe diferencia entre marcas e incluso de región a región dependiendo del clima, su contenido de solventes o diluyentes varía.

Propuesta para mejorar

Establecer un acercamiento con los productores de pinturas, barnices, lacas, adhesivos, tinas, etc., para obtener composiciones reales de sus productos.

5.1. Productos químicos con emisiones de solventes

5.1.1. Barnices

Las emisiones de compuestos orgánicos volátiles diferentes al metano, a partir del consumo de barnices,

entre 1990, año que tomaremos como referencia, y el año 2002, se incrementaron en 98 %. En tanto que entre 1998, último año del anterior inventario, y el 2002, sólo tuvieron un incremento de 27 %.

TABLA 5. 1 EMISIONES DE COVDM A PARTIR DE BARNICES

AÑO	PRODUCCIÓN, MILES DE LITROS	COVDM, Gg
1990	7,807	3.591
1992	9,619	4.424
1994	13,767	6.332
1996	11,163	5.134
1998	12,217	5.619
2000	15,832	7.282
2002	15,486	7.123

Fuente: Banco de Información Económica (BIE), INEGI; <http://www.inegi.gob.mx>

*Se estimó un contenido de solvente en barnices de 50 %. Densidad de 0.92 kg/litro

5.1.2. Esmaltes

La aplicación de esmaltes en el país entre los años 1990 y 2002 contribuyó a la emisión de COVDM, incrementándose sus emisiones entre esos años un 53 %. Siendo el incremento de sólo 6.4 % entre los años 1998 y 2002.

TABLA 5. 2 EMISIONES DE COVDM A PARTIR DE LA PRODUCCIÓN DE ESMALTES

AÑO	PRODUCCIÓN, MILES DE LITROS	COVDM, Gg
1990	62,964	29.593
1992	71,052	33.394
1994	89,518	42.073
1996	79,860	37.534
1998	90,849	42.699
2000	108,315	50.908
2002	96,674	45.436

Fuente: Banco de Información Económica (BIE), INEGI; <http://www.inegi.gob.mx>

*Estimó un contenido de solvente de 50 %. Densidad de 0.94 kg/litro

5.1.3. Lacas

El consumo nacional de lacas entre los años 1990 y 2002 se incrementó en un 116 % y similarmente las emisiones de COVDM a partir de ellas. Siendo este incremento de 44 % entre los años 1998 y 2002.

TABLA 5. 3 EMISIONES DE COVDM DERIVADAS DE LA PRODUCCIÓN ANUAL DE LACAS

AÑO	PRODUCCIÓN, MILES DE LITROS	COVDM, Gg
1990	10,583	4.868
1992	12,904	5.935
1994	15,262	7.020
1996	14,505	6.672
1998	15,849	7.290
2000	22,431	10.318
2002	22,874	10.522

Fuente: Banco de Información Económica (BIE), INEGI; <http://www.inegi.gob.mx>

*Se estimó un contenido de solvente en lacas de 50 %. Densidad de 0.92 kg/litro.

5.1.4. Pinturas solubles en agua sin agregados minerales

TABLA 5. 4 EMISIONES DE COVDM A PARTIR DE PINTURAS SOLUBLES EN AGUA SIN AGREGADOS MINERALES

AÑO	PRODUCCIÓN, MILES DE LITROS	COVDM, Gg
1990	58,784	3.233
1992	66,046	3.632
1994	64,594	3.552
1996	58,805	3.234
1998	88,239	4.853
2000	101,152	5.563
2002	96,807	5.324

Fuente: Banco de Información Económica (BIE), INEGI; <http://www.inegi.gob.mx>

* Se estimó un contenido de solvente en estas pinturas, de 5 %. Densidad de 1.1 kg/litro

En las pinturas solubles en agua se ha considerado un porcentaje de solvente de sólo 5 % (apoyando este criterio en el de algunos países europeos). La producción de pinturas solubles en agua sin agregados minerales se ha incrementado en el país, entre 1990 y 2002, en 65 % habiendo sido incrementadas, en ese mismo porcentaje, sus emisiones de compuestos orgánicos volátiles diferentes al metano. Incrementos que sólo fueron de 9 % entre el año 1998 y el año de 2002.

5.1.5. Pinturas solubles en agua con agregados minerales

Las pinturas solubles en agua con agregados minerales mostraron un decremento en su volumen de producción entre el año 1994 y el de 2002, significando esta disminución un 15 %. Sus emisiones de COVDM, aplicando el mismo criterio respecto al porcentaje de contenido de solvente, que para pinturas solubles en agua sin agregados minerales, entre 1998 y 2002 disminuyeron en un 21 %.

TABLA 5. 5 EMISIONES DE COVDM A PARTIR DE PINTURAS SOLUBLES EN AGUA CON AGREGADOS MINERALES

AÑO	DIVERSOS USOS, MILES DE LITROS	COVDM. Gg
1990	ND	---
1992	ND	---
1994	46,281	2.545
1996	39,591	2.177
1998	50,014	2.750
2000	49,606	2.728
2002	39,300	2.161

Fuente: Banco de Información Económica (BIE), INEGI; <http://www.inegi.gob.mx>

* Se estimó un contenido de solvente en estas pinturas, de 5 %. Densidad de 1.1 kg/litro

5.1.6. Pinturas con solventes

Para la estimación de las emisiones de compuestos orgánicos volátiles diferentes al metano a partir de la producción nacional de pinturas con solventes, se consideró que el contenido de solvente en estas pinturas representa un 50 %.

Las emisiones de COVDM a partir de estas pinturas entre los años 1990 y 2002 tuvieron un incremento del 173 %. Siendo este incremento prácticamente nulo entre el año 1998 y 2002.

TABLA 5. 6 EMISIONES DE COVDM A PARTIR DE PINTURAS CON SOLVENTE

AÑO	PRODUCCIÓN, MILES DE LITROS	COVDM, GG
1990	13,662	6.421
1992	16,970	7.975
1994	29,272	13.757
1996	27,975	13.148
1998	36,987	17.383
2000	45,893	21.569
2002	37,246	17.505

Fuente: Banco de Información Económica (BIE), INEGI; <http://www.inegi.gob.mx>

* Se estimó el contenido de solvente en estas pinturas, de 50%. Densidad de 0.94 kg/litro

5.1.7. Selladores, tintes y bases y fondos

TABLA 5. 7 EMISIONES DE COVDM DERIVADOS DE PRODUCTOS COMO BASES Y FONDOS TINTES COLORANTES Y SELLADORES

AÑO	PRODUCCIÓN, MILES DE LITROS	COVDM, GG
1990	13,321	2.997
1992	17,379	3.910
1994	28,243	6.354
1996	23,740	5.341
1998	28,448	6.400
2000	31,493	7.085
2002	29,038	6.533

Fuente: Banco de Información Económica (BIE), INEGI; <http://www.inegi.gob.mx>

*Se estimó el contenido de solvente en estas sustancias, de 25 % Densidad de 0.90 kg/litro

El contenido de solvente en estos productos se estimó en 25 %. Su producción nacional entre los años 1990 y 2002 tuvo un incremento de 118 %, y entre el año 1998 y el año 2002 fue de sólo 2%; reflejándose de la misma manera en sus incrementos de emisiones de COVDM.

5.1.8. Adhesivos a base de resinas

La fracción de solvente en estos productos se consideró del 60 %. El incremento en la producción entre el año 1990 y 2002 fue considerablemente alto de 228 % y como consecuencia el de sus emisiones de COVDM. Sin embargo entre el año 1998 y 2002 se tuvo un decremento tanto en la producción como en las emisiones, siendo esta disminución de 1.2 %.

TABLA 5. 8 EMISIONES DE COVDM A PARTIR DE ADHESIVOS A BASE DE RESINAS

AÑO	PRODUCCIÓN, TONELADAS	COVDM, GG
1990	11,848	7.108
1992	12,607	7.564
1994	21,549	12.929
1996	27,904	16.742
1998	39,411	23.646
2000	48,856	29.313
2002	38,924	23.354

Fuente: Banco de Información Económica (BIE), INEGI; <http://www.inegi.gob.mx>

*El contenido de solvente se calculó en adhesivos, de 60%

5.1.9. Impermeabilizantes

En los impermeabilizantes como en los selladores, se consideró para fines de la estimación de las emisiones de COVDM a partir de ellos, un contenido de solventes de sólo el 25 %, obteniéndose que entre los años 1990 y 2002 estas emisiones a partir de impermeabilizantes tuvieron un incremento de 58 %, mostrando, por el contrario, una reducción entre los años 1998 y 2002, de casi el 21 %.

TABLA 5. 9 EMISIONES DE COVDM DERIVADOS DE IMPERMEABILIZANTES

AÑO	PRODUCCIÓN, TONELADAS	COVDM, Gg
1990	35 522	8.880
1992	34 818	8.704
1994	36 947	9.236
1996	73 304	18.326
1998	71 090	17.772
2000	68 392	17.098
2002	56 292	14.073

Fuente: Banco de Información Económica (BIE), INEGI; <http://www.inegi.gob.mx>

* La cantidad de solvente en los impermeabilizantes se estimó de 25%

5.1.10. Tintas para impresión y escritura

La producción de este compuesto entre el año 1994 y el año 2002 se incrementó en un 146 % y entre el año 1998 y el mismo año 2002 el incremento fue de 21 %. Para el cálculo de las emisiones de COVDM, a partir de esta sustancia se consideró que contiene un 65 % de solvente.

TABLA 5. 10 EMISIONES DE COVDM A PARTIR DE TINTAS PARA IMPRENTA

AÑO	PRODUCCIÓN, TONELADAS	COVDM, Gg
1990	ND	—
1992	ND	—
1994	15 427	10.027
1996	22 661	14.729
1998	31 326	20.361
2000	31 025	20.166
2002	37 966	24.677

Fuente: Banco de Información Económica (BIE), INEGI; <http://www.inegi.gob.mx>

* La cantidad de solvente en tintas para imprenta se considero del 65 %

5.1.11. Solventes y removedores

El factor de emisión considerado par estos productos fue de uno y los incrementos en emisiones entre el año de referencia, 1990 y el 2002 fueron, para la producción como para la emisiones de COVDM, de un 22 %, en tanto que el decremento entre el año 1998 y 2002 fue de 7%.

De la tabla resumen que se da más adelante se puede observar que las emisiones de COVDM por solventes, en forma generalizada, tomando como referencia el año de 1990, tuvieron un incremento del 85 % para el año 2002, siendo este incremento sólo de 4.9 % entre el año 1998 y el año de 2002.

TABLA 5. 11 EMISIONES DE COVDM A PARTIR DE SOLVENTES Y REMOVEDORES

AÑO	PRODUCCIÓN, MILES DE LITROS	COVDM, Gg
1990	68 561	52.791
1992	67 253	51.784
1994	88 000	67.760
1996	74 714	57.529
1998	89 992	69.293
2000	95 894	73.838
2002	83 587	64.361

Fuente: Banco de Información Económica (BIE), INEGI; <http://www.inegi.gob.mx>

* La emisión del solvente fue del 100 %. Densidad de 0.77 kg/litro

5.2. Tabla resumen de emisiones de COVDM por Solventes

TABLA 5. 12 RESUMEN DE LAS EMISIONES EN Gg, DE COVDM DERIVADOS DE LOS SOLVENTES EN DIFERENTES PRODUCTOS

PRODUCTO	AÑOS						
	1990	1992	1994	1996	1998	2000	2002
Esmaltes	29.6	33.4	42.1	37.5	42.7	50.9	45.4
Lacas	4.9	5.9	7.0	6.6	7.3	10.3	10.5
Pinturas solubles en agua sin minerales	3.2	3.6	3.5	3.2	4.8	5.6	5.3
Barnices	3.5	4.4	6.3	5.1	5.6	7.3	6.6
Pinturas solubles en agua con minerales	ND	ND	2.5	2.2	2.7	2.7	2.2
Pinturas con solventes	6.4	7.9	13.7	13.2	17.4	21.5	17.5
Selladores	3.0	3.9	6.4	5.3	6.4	7.1	6.5
Adhesivos	7.1	7.6	12.9	16.7	23.6	29.3	23.3
Impermeabilizantes	8.9	8.7	9.2	18.3	17.8	17.1	14.1
Tintas para impresión	ND	ND	10	14.7	20.4	20.2	24.7
Solventes	52.8	51.7	67.8	57.5	61.6	73.8	64.4
Totales, Gg	119.4	127.1	181.4	180.3	210.3	245.8	220.5

5.3. Conclusiones y recomendaciones

Las emisiones de COVDM derivados de Solventes, se observa un considerable incremento en las emisiones del año 2002 respecto a las emisiones del año 1990.

Como recomendación se debe señalar la necesidad de invitar a directivos de empresas del sector público y privado para que participen en la elaboración del inventario mediante su mejor disponibilidad a proporcionar datos de la actividad en la que cada una de estas autoridades tiene influencia.

Considerando que el INEGI como institución gubernamental tiene acceso a la mayoría de las fuentes generadoras de GEI censando la producción de los diferentes procesos, se sugiere que, de ser posible, hacerle la recomendación a nivel de instituciones gubernamentales, de ampliar y adecuar la información por tipos de productos, es decir que se pueda contar con un mayor desagregado de los tipos de productos de una misma fuente.

6. Agricultura [4]

Para la determinación de las emisiones en este sector, se utiliza una combinación de metodologías del PICC y la generada por un estudio de país, dos autores mexicanos demostraron que de tomar los valores por defecto el PICC, se sobre-estimarían las emisiones de metano derivadas de la ganadería (Ruiz Suárez y González Ávalos, 1997); luego entonces y tomado en cuenta sus resultados previos, realizaron la estimación de las emisiones en este sector para los años 1994, 1996 y 1998, obteniendo 57,627; 55,581 y 54,399 Gg de CO₂ equivalente, respectivamente (INE, 2000). Así, los estimados en ambos casos no sugieren una tendencia en el incremento o decremento de las emisiones de GEI del sector agricultura para nuestro país.

Cabe señalar que durante el proceso de estimación de emisiones del periodo 1994 – 1998, Ruiz Suárez y González Ávalos (1997) y Ruiz Suárez y colaboradores (1999), realizaron trabajos de investigación sobre los factores de emisión para la fermentación entérica y la fermentación anaeróbica de los desechos del ganado

bovino, analizando la distribución del hato a nivel nacional, enfatizando su distribución climática, función, forma de explotación y estrato de edad, teniendo como resultado una considerable mejora en los datos de actividad.

La información colectada del Sistema de Información Agropecuaria de Consulta (SIACON) 1980-2003, no esta detallada (es decir, no contempla ganado lechero por varios años, no se contabiliza el numero de caballos, mulas, asnos y faltan datos del número de pavos o guajolotes), como en los censos anteriores elaborados por el Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI) lo que no permite hacer extrapolaciones o asumir tendencias del incremento o decremento de las cabezas de animales que existen en nuestro país, de forma directa. Bajo este escenario, se revisaron datos censales desde 1950 y se analizaron las tendencias centrales del incremento - decremento en dichos animales domésticos, de los datos provenientes del INEGI para los años de 1950, 1960, 1970, 1980 y 1990.

Debido a las diferencias en los formatos del registro de datos, tanto del INEGI como del SIACON, se analizaron las diferentes metodologías utilizadas en cada censo, para homologar los datos y no contabilizar doble. Como resultado de estos procesos, se obtuvieron los análisis de las tendencias centrales del incremento o decremento del número de cabezas de ganado registradas para algunos rubros como ganado lechero. Por otra parte, recapitulando lo que menciona Ruiz Suárez y colaboradores, en su reporte anterior: “*es posible conocer cuánta carne en canal se produce por estado, pero no se logra conocer cuántas cabezas de ganado de carne existen en cada estado por forma de explotación*”, permite sugerir que mucha de la información no es consistente.

Asimismo, el SIACON no tiene completa la serie de datos sobre todos los cultivos agrícolas en nuestro país y en algunos casos se tuvieron datos solo de los años mas recientes, por que no se tomaron en cuenta para las estimaciones a aquellos cultivos con la información incompleta.

6.1. Fermentación entérica [4A] y manejo de estiércol [4B] en ganadería

Se debe conocer el número de cabezas de ganado para calcular las emisiones de N₂O por desechos, así como para estimar el CH₄ por la fermentación entérica y del manejo del estiércol.

6.1.1. Datos de Actividad

La información de base sobre el número de cabezas por tipo de ganado, se tomo del Sistema de Información Agropecuaria de Consulta (SIACON) 1980-2003, de la SAGARPA; en algunos rubros donde faltaban datos, se realizó un análisis de las tendencias centrales, tomando como referencia los censos realizados por del Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI), para los años 1950, 1960, 1970, 1980 y 1990; logrando de esta forma asignar un valor para cada año, a fin de minimizar incertidumbres y no de hacer un promedio simple entre dos años (Tabla 6.1).

Se identificaron algunos elementos que no han sido considerados como: Patos, gansos, codornices, gallos, gallinas para huevo y pollitos; sus aportaciones adicionales con algunos otros animales como: camellos, llamas y búfalos (en ranchos cinegéticos, colecciones privadas, zoológicos y circos), podrían alcanzar en su conjunto, cerca de un 1% de las emisiones totales en este sector. Se menciona lo anterior, porque se han llevado a cabo procesos de revisión exhaustiva en subcategorías que pueden ser relevantes (e.g., avícolas) y tener un efecto significativo como fuentes de emisión (e.g., animales exóticos más avícolas).

TABLA 6.1 NÚMERO DE CABEZAS DE ANIMALES EN MÉXICO EN EL PERIODO DE 1990 - 2002.

CABEZAS (1000's)	1990	1992	1994	1996	1998	2000	2002
Ganado bovino -vacas leche	1,487	1,540	1,618	1,694	1,814	2,075	2,166
Ganado bovino -vacas carne	32,054	31,158	30,151	28,601	29,246	28,449	29,224
Búfalos	-	-	-	-	-	-	-
Ovino - borregos	5,846	6,119	6,458	6,184	5,804	6,046	6,417
Cabras	10,439	9,736	10,259	9,567	9,040	8,704	9,130
Camellos	-	-	-	-	-	-	-
Caballos	2,869	2,910	2,953	2,999	3,048	3,099	3,152
Mulas y asnos	2,466	2,371	2,271	2,167	2,057	1,943	1,825
Cerdo - porcino	15,203	13,770	16,294	15,405	14,972	15,391	15,123
Aves	123,594	125,799	175,400	203,546	215,005	229,409	251,795
TOTAL	193,957	193,403	245,404	270,163	280,986	295,115	318,832

6.1.2. Factores de emisión

Se usaron los factores de emisión generados por Ruiz Suárez y colaboradores (1999) en su reporte anterior. Los factores empleados en la fermentación entérica de ganado bovino, son promedios ponderados de los animales correspondientes de cada estrato del hato definido por función, forma de producción y edad. La estructura del hato que se toma como modelo es la registrada en el año de 1990 en virtud del detalle de la información y que en años posteriores ya no estuvo disponible. El factor de emisión de ganado lechero que registraron fue equivalente al de los países desarrollados, mientras que el factor reportado para ganado de carne y doble propósito fue ligeramente menor al sugerido por defecto para los países de Latinoamérica.

Por otra parte, el factor de emisión por fermentación anaeróbica de desechos de ganado, es un promedio ponderado tomado de González Ávalos (1999), y González Ávalos y Ruiz Suárez (2001), obtenidos de estudios experimentales desarrollados en México, cuyos valores podrían ser aplicables en otros países bajo condiciones similares.

6.1.3. Metodología

Al iniciar el proceso de revisión de los formatos de registro de datos (PICC-96 Excel worksheet), los valores no se podían incorporar de forma amigable y se tenía un archivo ligado (overview) que debería repetirse en cada año de estimación. Por ello, se modifican las hojas de Excel y se anexan secciones (en cada hoja) donde se incorporan los datos censales, referencias bibliográficas, factores de emisión y una de datos generales donde se señala el país, año que se reporta y equivalencias en la traducción.

En cada sector se parte del uso de los árboles de decisiones, los que sirven como apoyo para definir el método, los factores de emisión, los datos de actividad, y que son agregados al final de esta sección.

Se eligieron algunos de los métodos de estimación de emisiones de GEI's sugeridos por las directrices del PICC (1996). También se utilizaron las Guías de las Buenas Prácticas del PICC (2003), a fin de mejorar las

estimaciones de GEI's generadas en el presente sector, donde se contemplan aspectos como la exhaustividad, series temporales coherentes, evaluación de la incertidumbre, así como la garantía de calidad y el control de calidad de los inventarios.

Debido a las diferencias en los formatos del registro de datos, se analizaron las diferentes metodologías utilizadas en cada censo, para homologar los datos y no contabilizar doble. Como resultado de estos procesos, se obtuvieron los análisis de las tendencias del incremento o decremento en el tipo de ganado.

Se revisaron los datos censales reportados y se encontraron inconsistencias, tal es el caso de la base de datos del SIACON, que no incluye información del ganado lechero por varios años, no se contabiliza caballos, mulas, asnos, y faltan datos del número de pavos (guajolotes). Bajo este escenario, se revisaron datos censales desde 1950, y se analizaron las tendencias del incremento en estos animales; cabe señalar que los datos provienen del INEGI para los años de 1950, 1960, 1970, 1980 y 1990.

6.1.4. Incertidumbre

Se toman los valores de incertidumbre reportados por González, 1994, para la estructura del hato con 6% y la incertidumbre sobre la distribución climática con 10%; la incertidumbre para la población de ganado total o por estados estimada por Ruíz y colaboradores, fue del 12%. Se considera que como estos valores fueron reportados en el inventario anterior, pasan a ser un valor por defecto y se les asigna el 20% como valor global de la incertidumbre en las estimaciones.

Para los factores de emisión, por fermentación entérica de ganado bovino, se sigue el mismo proceso del inventario anterior (Ruíz y colaboradores, 2000), en el cual se toma la incertidumbre de los factores de emisión por defecto del Nivel 1. Estos se obtienen aplicando la metodología del Nivel 2 a un animal típico por región o continente. En nuestro caso se toman del inventario anterior, previa revisión de estudios de caso, a fin de que éstos pudiesen aportar nuevos elementos para seleccionar un factor de emisión diferente. Respecto a los valores estimados por Ruíz y colaboradores (2000),

obtuvieron las características de un animal típico por función que representa un promedio ponderado del hato por forma de producción y por edad. En este estudio se les asigna un valor de incertidumbre del 20%.

Los factores de emisión por desechos del ganado bovino, se tomaron de estudios experimentales reportados por González (1999) y Ruiz *et al.* (2000). La incertidumbre reportada se toma de los valores por defecto que es del 20%.

Existen en México, estimaciones de factores de emisión obtenidos de estudios puntuales (experimentales), pero aún están limitados y se requieren más estudios de caso, que permitan ratificar los valores de los factores estimados, o señalar las diferencias de los valores usados por defecto; esto da lugar a incertidumbres asociadas al tipo de actividad en esta parte del sector, como se toman valores por defecto y se combinan con estudios de caso, se sugiere utilizar una incertidumbre del 20%.

6.1.5. Resultados

6.1.5.1. Tendencias centrales

Como resultado del análisis de las tendencias de incremento – decremento, se obtienen los siguientes

resultados, donde se presentan los datos censales analizados por dos modelos uno lineal (Fig. 6.1) y otro polinómico (Fig. 6.2) para el ganado lechero:

Uno de tipo lineal con una $r^2=0.92$ y

Otro polinómico con una $r^2=0.97$;

En ambos casos los valores de la correlación, son bastante altos y por ello estos valores se sustituyen y se genera una estimación, alta, una baja y un promedio (Fig. 6.3), que es la que se usa para cada año donde faltaba la información (detalle en la misma hoja de Excel en la sección SIACON). De igual forma se realiza la misma operación para cada uno de los tipos de ganado faltante (Livestock type). Al determinar los valores de la tendencia central del crecimiento del tipo de ganado, se pasa a un nivel de alta calidad en los datos censales (Tier 2); al no tener información de la cantidad de forrajes consumidos por tipo de ganado y por región, se mantiene el nivel en Tier 1.

6.1.5.2. Metano

Las emisiones promedio de metano en el periodo analizado fueron de 1,823 Gg en nuestro país (Tabla 6.2),

FIGURA 6.1 RELACIÓN DE TIPO LINEAL EN EL CENSO DE GANADO LECHERO

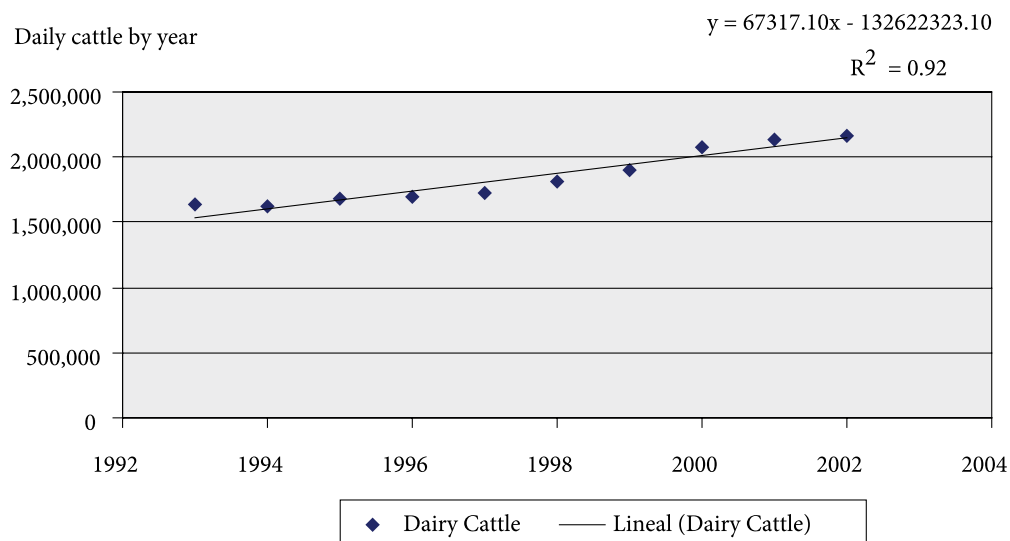


FIGURA 6.2 RELACIÓN DE TIPO POLINÓMICA EN EL CENSO DE GANADO LECHERO

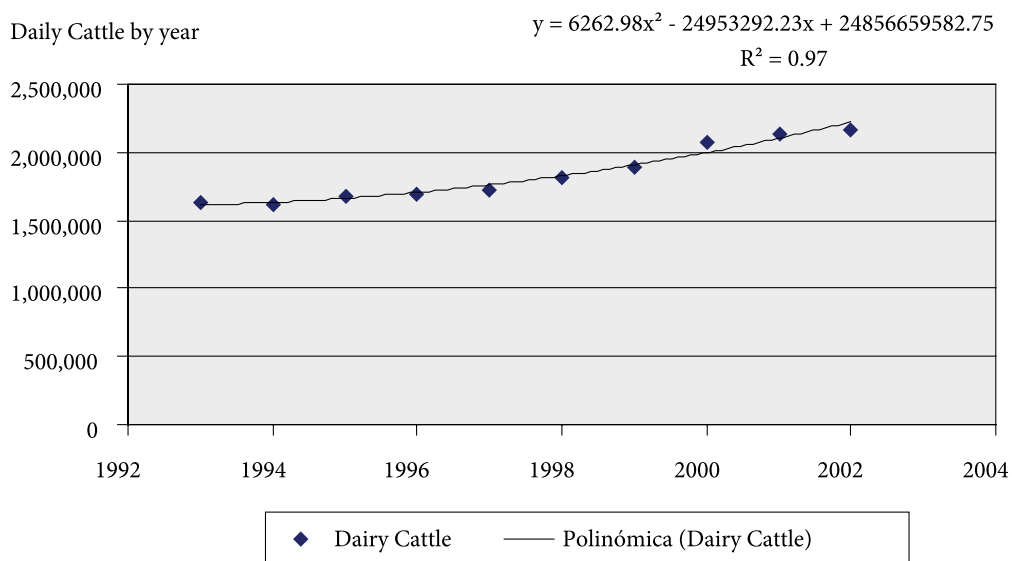
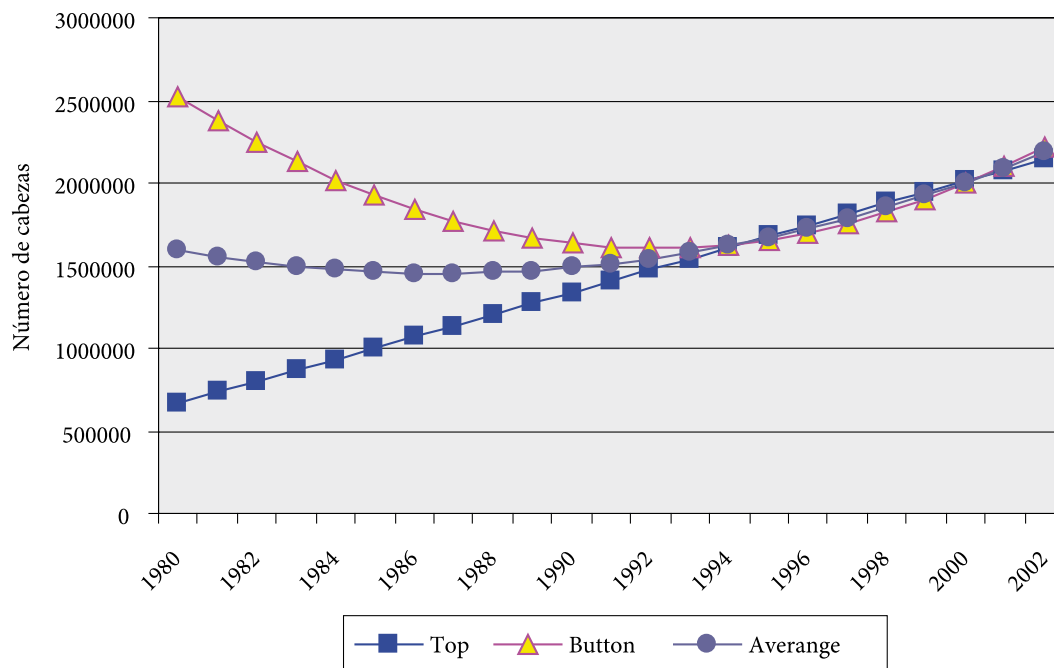


FIGURA 6.3 RELACIÓN DEL VALOR DE LA TENDENCIA CENTRAL, PARA OBTENER LOS VALORES DEL GANADO LECHERO PARA LOS AÑOS FALTANTES DEL CENSO DEL SIACON



cabe señalar que los valores son la suma de fermentación entérica y manejo de estiércol.

Si se toman en cuenta las emisiones de todos los animales considerados en la presente actualización del inventario, el 89% de las emisiones de metano generadas corresponden al ganado de carne y doble propósito, el 10% al ganado lechero y el 1% restante a los demás animales.

Las emisiones promedio de metano estimadas de la sección ganadera en CO₂ equivalente fueron del orden de 34,241 Gg para el periodo comprendido entre los años 1990 – 2002, que equivalen al 88% del total de las emisiones de metano de todo el sector y el 12 % restante corresponde al N₂O. Ahora bien, dentro de dicha sección, las emisiones fueron generadas principalmente por el ganado bovino, donde el de carne y doble propósito produjeron el 89%, el lechero fue el responsable del 10% y los demás animales el 1% restante.

6.1.5.3. Óxido nitroso

Las emisiones estimadas de óxido nitroso durante el periodo 1990 – 2002 fluctúan ligeramente y se mantienen cercanas al valor de 0.02 Gg, considerando únicamente el tratamiento de los desechos y no las emisiones derivadas de la aplicación del estiércol como fertilizante o por las excretas generadas durante el pastoreo, motivo de nuevos temas de investigación.

6.1.6. Discusión de Resultados

Las emisiones promedio de metano de 1990 al 2002 fueron del orden de 1,823 Gg (Cuadro 4.8), mientras que en el inventario anterior, los valores estimados fueron de 2,211, 2,124 y 2,034 Gg, para los años de 1994, 1996 y 1998, respectivamente. Es importante hacer notar que en los inventarios previos y en algunos años muy particulares, el número de cabezas de ganado para el año evaluado era tomado de un promedio de otros años; sin embargo, en la presente actualización del inventario, cada año tiene un valor propio en el número de cabezas.

Ruiz Suárez y González Ávalos (1997) y Ruiz Suárez y colaboradores (1999), experimentalmente determinaron los factores de emisión asociados al manejo de desechos, a fin de mejorar las estimaciones y así poder determinar el potencial de mitigación de las emisiones generadas en este sector. Es por ello que, en el presente reporte, se rescatan los valores de los factores de emisión generados por los mencionados autores, para los procesos de fermentación entérica y fermentación anaeróbica; sin embargo, ese apenas fue el comienzo de la obtención de los factores de emisión en la sección pecuaria. Por otra parte, es necesario generar factores de emisión nacionales para las otras actividades agropecuarias que aún no cuentan con los suyos, de modo que puedan ser desarrollarlos en las

TABLA 6.2 EMISIONES DE METANO DE LA SECCIÓN GANADERA, EXPRESADAS EN GG, PARA EL PERIODO 1990 – 2002 EN MÉXICO

EMISIONES DE METANO	1990	1992	1994	1996	1998	2000	2002
Ganado bovino - vacas leche	156.19	161.78	170.01	177.90	190.51	217.92	227.55
Ganado bovino - vacas carne	1,551.72	1,508.33	1,459.57	1,384.56	1,415.77	1,377.20	1,414.72
Búfalos	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ovino - borregos	30.04	31.44	33.19	31.78	29.83	31.07	32.98
Cabras	53.75	50.13	52.83	49.26	46.55	44.82	47.01
Camellos	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Caballos	56.81	57.62	58.48	59.39	60.35	61.36	62.41
Mulas y asnos	27.09	26.05	24.95	23.80	22.60	21.35	20.04
Cerdo - porcino	25.76	23.33	27.61	26.10	25.37	26.08	25.62
Aves	1.97	2.00	2.79	3.24	3.42	3.65	4.01
Total	1,903.33	1,860.69	1,829.42	1,756.04	1,794.40	1,783.45	1,834.35

diferentes y/o más representativas regiones climáticas de nuestro país.

6.2. Cultivos

La información de 1990 al 2002 sobre la superficie cosechada de arroz, la producción de caña de azúcar, cultivos fijadores y no fijadores de nitrógeno, así como el número de cabezas de ganado se obtuvo del Sistema de Información Agropecuaria de Consulta (SIACON) 1980-2003, de la SAGARPA e INEGI (Tablas 6.1, 6.3, 6.4 y 6.6). El consumo de fertilizantes nitrogenados del mismo periodo se obtuvo de la página WEB de la FAO llamada "FAOSTAT" (Tabla 6.5).

En la presente actualización, los factores de emisión utilizados en su mayoría fueron los denominados por defecto, mismos que se sugieren en las directrices del PICC para los inventarios de gases de efecto invernadero, versión revisada en 1996 y en el manual sobre las buenas prácticas y la gestión de la incertidumbre en los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero del PICC.

Se modificaron algunos valores por defecto, con respecto al inventario anterior, en las tablas de la sección de cultivos; es decir, solo algunos valores por defecto son los que se cambiaron en tres tablas del IPCC conocidas como: 4-4,1/3; 4-4, 2/3 y 4-5B, 1/1.

6.2.1. Cultivo de arroz [4C]

El cultivo del arroz en México por su superficie cosechada genera emisiones importantes de metano (Ta-

bla 6.3). La descomposición anaeróbica de la materia orgánica en los arrozales anegados produce emisiones de metano, durante la estación de crecimiento.

La superficie cosechada de arroz se transformó de hectáreas a metros cuadrados sobre mil millones, como resultado de las operaciones que se deben realizar previamente.

Los datos en azul bajo las columnas de los años 94, 96 y 98 (Tabla 6.3), y que están fuera del cuadro, son las superficies **cultivadas** de arroz en hectáreas, mismas que se utilizaron en el inventario previo. Cabe hacer mención que ese dato fue erróneamente tomado, ya que se debe utilizar la superficie cosechada y no la superficie cultivada.

6.2.2. Quema de residuos agrícolas [4F]

Los sistemas agrícolas en todo el mundo producen grandes cantidades de desperdicios agrícolas. La quema de los residuos en el campo es una práctica agrícola común, sobre todo en los países en desarrollo. En México la caña de azúcar es el único cultivo que se reporta con datos confiables sobre su volumen de producción, superficie cosechada y superficie sembrada (Tabla 6.4).

Los datos de volumen de producción se transformaron en Gg son colocadas en las hojas del PICC para hacer el cálculo de las emisiones de metano, monóxido de carbono, óxido nitroso y óxidos de nitrógeno. En México no se tiene registro de quemas en sabanas, porque dicha clasificación no se asigna a las comunidades vegetales a nivel nacional.

TABLA 6.3 SUPERFICIE DE ARROZ COSECHADA PARA EL PERIODO 1990 – 2002 EN MÉXICO

	CONDICIÓN	1990	1992	1994	1996	1998	2000	2002
Superficie	Riego	52,781	56,657	39,715	38,300	38,324	33,159	16,408
Cosechada	Temporal	52,621	33,763	48,081	48,478	63,237	50,910	32,069
(Ha)	Total	105,402	90,420	87,796	86,778	101,560	84,069	48,477
Volumen	Riego	239,320.0	277,609.0	221,900.0	219,997.2	227,884.5	203,265.1	101,621.2
Producción (Ton)	Temporal	155,068.0	116,413.0	151,716.0	174,078.0	230,227.7	148,181.4	109,686.2
	Total	394,388.0	394,022.0	373,616.0	394,075.2	458,112.2	351,446.5	211,307.3

Fuente: SIACON, 1980-2003.

99,179 94,408 108,845(Superficie cultivada)

TABLA 6.4 PRODUCCIÓN DE CAÑA DE AZÚCAR INDUSTRIAL PARA EL PERIODO 1990-2002 EN MÉXICO

RESUMEN NACIONAL	1990	1992	1994	1996	1998	2000	2002
Superficie Sembrada (Ha)	678,123	640,242	628,307	675,846	692,430	667,516	663,861
Superficie Cosechada (Ha)	571,162	557,417	586,806	621,790	630,578	618,282	632,215
Volumen Producción (Ton)	39,907,868	41,652,374	40,538,636	44,294,994	47,129,814	42,373,391	45,635,329

Fuente: SIACON, 1980-2003.

40,586,768 45,080,648 48,895,256

La producción de caña de azúcar se transformó de toneladas a gigagramos, como resultado de las operaciones que se deben realizar previamente. La hoja de cálculo con los datos se encuentra dentro de cada archivo de cada año, con el nombre de "SIACON AGR". Para seguir las ligas entre los datos reales y los transformados de cada año, se deben ver las hojas de cálculo respectivas.

Los datos en azul, bajo las columnas de los años 94, 96 y 98, y que están fuera del cuadro, son los volúmenes de producción de la caña de azúcar, en toneladas, mismas que se utilizaron en el inventario previo, muy similares a las obtenidas del SIACON para la presente actualización.

6.2.3. Suelos agrícolas [4D]

El óxido nitroso (N_2O) se produce en forma natural en los suelos mediante los procesos microbianos de nitrificación y desnitrificación. Algunas actividades agrícolas aportan nitrógeno a los suelos, aumentando la cantidad de nitrógeno disponible para la nitrificación y desnitrificación y, en definitiva, la cantidad de N_2O emitido. Las emisiones de N_2O resultantes de los aportes antropogénicos de N se producen tanto por vía directa (es

decir, directamente de los suelos a los que se incorpora N), como por dos vías indirectas (es decir, mediante la volatilización como NH_3 y NO_x y posterior deposición, y mediante lixiviación y escorrentía).

6.2.4. Fertilizantes

El consumo de fertilizantes nitrogenado en México es de vital importancia para estimar las emisiones del óxido nitroso (Tabla 6.5).

Los datos en rojo son los que se utilizaron en los cuadros del PICC, para hacer el cálculo de las emisiones de óxido nitroso. El consumo de fertilizantes nitrogenados se transformó de toneladas métricas a kilogramos y de ahí se ajustó el contenido de nitrógeno por kilogramo de fertilizante a un 34.5% de N, que es la media nacional, como resultado de las operaciones que se deben realizar previamente.

La hoja de cálculo con los datos se encuentra dentro de cada archivo de cada año, con el nombre de "SIACON AGR". Para seguir las ligas entre los datos reales y los transformados de cada año, se deben ver las hojas de cálculo respectivas.

Los datos en azul bajo las columnas de los años 94, 96 y 98, y que están fuera del cuadro, son el consumo

TABLA 6.5 CONSUMO NACIONAL DE FERTILIZANTES NITROGENADOS PARA EL PERIODO 1990-2002

FERTILIZANTES NITROGENADOS	1990	1992	1994	1996	1998	2000	2002
Consumo (Mt)	1,346,300	1,230,000	1,182,400	1,207,400	1,336,000	1,342,000	1,176,400
Conversión a tons.	1,484,026	1,355,829	1,303,360	1,330,917	1,472,673	1,479,287	1,296,746
Conversión a kg	1,484,026,490	1,355,829,000	1,303,359,520	1,330,917,020	1,472,672,800	1,479,286,600	1,296,745,720
Ajustado*	511,989,139	467,761,005	449,659,034	459,166,372	508,072,116	510,353,877	447,377,273

Fuente: FAOSTAT WEB. 2005

1,636,200 1,804,000 1,730,300

de fertilizantes nitrogenados, en toneladas, mismas que se utilizaron en el inventario previo, también muy similares a las obtenidas del SIACON para la presente actualización.

6.2.5. Cultivos no fijadores y fijadores de nitrógeno

De un total de 432 cultivos agrícolas reportados solo se tomaron 211 debido a que fueron los únicos que contaron con la serie completa de datos de 1990 al 2002. La producción total de los cultivos fijadores y no fijadores de nitrógeno se aprecia en la Tabla 6.6.

Los datos en rojo son los que se colocaron en los cuadros del PICC, para hacer el cálculo de las emisiones de óxido nitroso. La producción de los cultivos no fijadores y fijadores de nitrógeno se transformó de toneladas a kilogramos. Para obtener los kilogramos de biomasa seca, se multiplica el factor (0.15), sugerido en el libro de trabajo del PICC, por los kilogramos de dichos tipos de cultivos, como resultado de las operaciones que se deben realizar previamente.

La hoja de cálculo con los datos se encuentra dentro de cada archivo de cada año, con el nombre de "SIACON AGR". Para seguir las ligas entre los datos reales y los transformados de cada año, se deben ver las hojas de cálculo respectivas.

Los datos en azul bajo las columnas de los años 94, 96 y 98, y que están fuera del cuadro, son el volumen total de producción de los cultivos fijadores y no fijadores de nitrógeno, en toneladas, mismas que se utilizaron en el inventario previo, que difieren enormemente a las obtenidas del SIACON para la presente actualización.

Es conveniente mencionar que los volúmenes de producción de dos de las más importantes leguminosas (alfalfa y trébol) en México, no se contabilizaron en la categoría correspondiente en el inventario previo.

6.2.6. Metodología

Al igual que en la sección de ganadería, a los cultivos se les aplicó el mismo proceso antes mencionado, de manera que con el apoyo de los árboles de decisión,

TABLA 6.6 PRODUCCIÓN DE LOS CULTIVOS FIJADORES Y NO FIJADORES DE NITRÓGENO PARA EL PERIODO 1990 – 2002 EN MÉXICO

VOLUMEN TOTAL	CULTIVOS	1990	1992	1994	1996
Producción (Ton)	No fijadores de N	70,084,983.0	81,748,531.0	84,027,197.0	87,442,553.0
	Fijadores de N	17,477,374.0	15,228,564.0	19,190,367.0	19,010,569.3
Producción (kg)	No fijadores de N	70,084,983,000	81,748,531,000	84,027,197,000	87,442,552,990
	Fijadores de N	17,477,374,000	15,228,564,000	19,190,367,000	19,010,569,340
Datos transformados por 0.15 (biomasa seca)	No fijadores de N	10,512,747,450	12,262,279,650	12,604,079,550	13,116,382,949
	Fijadores de N	2,621,606,100	2,284,284,600	2,878,555,050	2,851,585,401
Fuente: SIACON, 1980-2003.				43,788,318	50,264,955
				2,106,936	1,712,485
VOLUMEN TOTAL	CULTIVOS	1998	2000	2002	
Producción (Ton)	No fijadores de N	101,753,602.7	116,963,174.5	118,967,446.1	
	Fijadores de N	17,752,680.5	19,889,664.5	22,879,108.1	
Producción (kg)	No fijadores de N	101,753,602,670	116,963,174,490	118,967,446,070	
	Fijadores de N	17,752,680,470	19,889,664,500	22,879,108,120	
Datos transformados por 0.15 (biomasa seca)	No fijadores de N	15,263,040,401	17,544,476,174	17,845,116,911	
	Fijadores de N	2,662,902,071	2,983,449,675	3,431,866,218	
Fuente: SIACON, 1980-2003.		56,185,797			
		1,684,411			

las directrices del PICC y las guías de las buenas prácticas, se analizó la información.

El SIACON presenta la información incompleta durante el periodo de actualización del inventario; es decir, hay cultivos agrícolas que solo se incluyen en los últimos años, inclusive hay otros con datos faltantes en las series de tiempos y consecuentemente, en la contabilización solo se incluyeron los cultivos con información completa. Los datos sobre el consumo de fertilizantes nitrogenado provienen de la página WEB de la FAO, denominada “FAOSTAT”, de manera desglosada, por tipo de fertilizante, por producción y por consumo.

Las emisiones de metano y óxido nitroso, así como de otros GEI's, se obtuvieron a partir de la información sobre el cultivo de arroz y caña de azúcar; sin embargo, para estimar las emisiones de óxido nitroso de los suelos fue necesario incorporar información relativa a los cultivos fijadores y no fijadores de nitrógeno, los fertilizantes nitrogenados y los desechos del ganado.

6.2.7. Factores de emisión

6.2.7.1. Quema de residuos agrícolas

De acuerdo con los lineamientos de las buenas prácticas del PICC de 1996 y del “*corrigendum*” del 2001, se modificaron algunos valores por defecto para determinar las emisiones por la quema de la caña, que se señalan a continuación:

Relación residuos-cultivo = 0.16, antes se utilizó 0.28
Fracción de materia seca = 0.83, antes se utilizó 0.30
Fracción de carbono en el residuo = 0.4325, antes se utilizó 0.4709 y
Relación nitrógeno-carbono = 0.004, antes se utilizó 0.02

En el trópico mexicano hay prácticas agrícolas donde se roza, tumba y queman los residuos de árboles y arbustos antes de la siembra de los cultivos. Otra práctica en el trópico es la quema de algunos residuos de cosechas agrícolas, con el objeto de enriquecer el suelo para la siguiente siembra; sin embargo, en las zo-

nas más áridas de nuestro país esta práctica no se lleva cabo ya que todo es aprovechado en la alimentación del ganado.

6.2.7.2. Suelos

En la sección donde se contabiliza el aporte de nitrógeno de los residuos de las cosechas también se modificó el valor por defecto, para la fracción de los residuos de las cosechas quemadas. Los países en desarrollo deben utilizar el valor de 0.25, que restado a la unidad, queda como 0.75 (kg de N/kg de nitrógeno en el cultivo). El valor de 0.10 o inferior se sugiere para los países desarrollados, que restado a la unidad queda como 0.90 kg de N/kg de nitrógeno en el cultivo, valor que erróneamente se utilizó en el inventario previo.

De manera que solo algunos valores por defecto son los que se cambiaron en tres tablas del IPCC (4-4,1/3; 4-4, 2/3 y 4-5B, 1/1); el resto de ellos no se modificaron, tanto en la quema de residuos agrícolas como en los suelos.

6.2.8. Incertidumbres

Esta sección, presenta un cambio importante en los factores usados y las emisiones disminuyen significativamente. El ajuste se aplica a la sub-sección referente a la quema de residuos agrícolas, y en particular a la caña de azúcar (que cabe señalar que es el único cultivo con datos confiables) debido a que en el inventario anterior se tomaron los valores para maíz y la parte que se aprovecha de la caña de azúcar es diferente y se opta por usar los valores de la remolacha.

Se aplican factores por defecto para estimar las emisiones generadas de óxido nitroso por aplicación de fertilizantes.

La incertidumbre sugerida en ambos casos de la sección de cultivos es del 20%, por el uso de valores por defecto.

6.2.9. Resultados

La base de datos sobre los cultivos agrícolas en México en el periodo comprendido de 1990 al 2002 se encuen-

tra en todos y cada uno de los archivos de Excel, junto con las tablas del PICC, en una hoja de cálculo cuyo nombre es: "SIACON AGR". Es importante mencionar que los datos de actividad y los factores de emisión de los cultivos agrícolas se mejoraron, en comparación con los inventarios previos.

6.2.9.1. Metano

Las emisiones de metano en promedio durante el periodo de 1990 al 2002 fueron del orden de 279.6 Gg de CO₂ equivalente, lo que representa un 4% de las emisiones de esta sección (Cuadro 4.9), provenientes del cultivo del arroz y de la quema de la caña de azúcar.

6.2.9.2. Óxido nitroso

Las emisiones de óxido nitroso en promedio durante el periodo de 1990 al 2002 fueron del orden de 7,169 Gg de CO₂ equivalente, lo que representa un 96% de las emisiones de esta sección (Tabla 6.7), generados por las emisiones del suelo (especialmente del consumo de los fertilizantes nitrogenados, de la producción de los cultivos fijadores de nitrógeno, de la producción de los cultivos no fijadores de nitrógeno y del estiércol del ganado) y de la quema de la caña de azúcar.

6.2.10. Discusión de resultados

Los resultados del sector agricultura del inventario de emisiones de gases efecto invernadero del año base (1990), especialmente los cultivos, no se pueden comparar con la presente actualización, por un lado porque se utilizó un manual del PICC preliminar y

por otro lado, por la falta de información consistente en aquella ocasión. En cambio, con el inventario de emisiones de gases efecto invernadero de los años 1994, 1996 y 1998, si es posible llevar a cabo una comparación.

6.3. Resumen

6.3.1. Ganado

Las emisiones promedio de metano y óxido nitroso de la sección ganadera en CO₂ equivalente fueron del orden de 38,291 Gg para el periodo comprendido entre los años 1990 – 2002 (Tabla 6.8), lo que representa el 84% de las emisiones exclusivas del ganado en este sector.

Las emisiones totales de metano generadas por el ganado bovino, respecto a la distribución porcentual, son del 89% en comparación con 86% de las observadas en el inventario anterior.

En el sector ganadero, la diferencia promedio fue de un 3% respecto a las emisiones estimadas en el inventario previo, debido a que se usó el valor registrado en el año analizado, versus el promedio que se había usado.

6.3.2. Cultivos

Las emisiones promedio de metano y óxido nitroso de la sección de cultivos en CO₂ equivalente fueron del orden de 7,448 Gg para el periodo comprendido entre los años 1990 – 2002 (Tabla 6.8), lo que representa el 16% de las emisiones exclusivas de los cultivos en el sector.

TABLA 6.7 EMISIONES, EXPRESADAS EN GG, DE CH₄ Y N₂O, PROVENIENTES DE CULTIVOS DE 1990 AL 2002 EN MÉXICO

GAS	1990	1992	1994	1996	1998	2000	2002
CH ₄	342.85 5%	328.86 5%	280.86 4%	278.67 4%	305.89 4%	259.57 3%	160.25 2%
N ₂ O	7,108.61 95%	6,640.20 95%	6,798.93 96%	6,915.17 96%	7,450.54 96%	7,808.87 97%	7,458.29 98%

6.3.3. Total del sector

Las emisiones promedio de metano y óxido nítrico estimadas del sector agricultura en CO₂ equivalente fueron del orden de 45,739 Gg para el periodo comprendido entre los años 1990 – 2002 (Tabla 6.8).

La estimación y/o uso correcto de los factores de emisión, permite apreciar diferencias significativas en las emisiones generadas, respecto a los inventarios anteriores en el sector agricultura. La reducción y fluctuación de las emisiones de CO₂ equivalente, fue del orden de 10,000 Gg, en promedio por año, respecto al inventario anterior; es decir en el inventario previo se generó una sobreestimación en las emisiones.

Dicha reducción en las emisiones no se logró por una mayor eficiencia, sino que se debió especialmente a las importaciones de granos básicos como el arroz y, por otra parte, a un estancamiento de la actividad pecuaria, que se acentuaron en los años 1995 – 1996, lo que coincide con el proceso de devaluación de nuestra moneda desde finales del año 1994.

González Ávalos y Ruiz Suárez (2001) comenzaron a estimar los valores de factores de emisión nacional para metano, mismos que hay que detallar y afinar; también hay otros valores en la sección de cultivos que no se conocen y se deben investigar. Consecuentemente, se sugiere redefinir los factores de emisión de la sección ganadera, respecto a la sub-región climática de nuestro país, con una malla más fina de análisis.

Por otra parte, la información registrada en el SIACON es deficiente, lo que da origen a una pérdida de resolución derivada de la información disponible,

cosa que también pasa, con la información del ganado, fuente más importante de emisiones en este sector.

6.4. Conclusiones y recomendaciones

- 1) El sector agricultura continúa como una fuente importante de emisiones de gases de efecto invernadero en México.
- 2) Las emisiones promedio del ganado y cultivos, durante los años de actualización del inventario, son del orden de 38,291 y 7,448 Gg de CO₂ equivalente respectivamente, lo cual representa un 84% y 16%, respectivamente. Asimismo, las emisiones promedio de metano y de óxido nítrico son del orden de 38,564.63 y 7,174.68 Gg de CO₂ equivalente, lo cual representa un 84% y 16%, respectivamente.
- 3) Dentro de la sección del ganado, el metano y el óxido nítrico aportan 38,285 y 6 Gg de de CO₂ equivalente, lo cual representa un 99.98% y 0.02%, respectivamente. De igual manera dentro de la sección de cultivos, el metano y el óxido nítrico son los responsables de 280 y 7,169 Gg de de CO₂ equivalente, lo cual representa un 3.8% y 96.23%, respectivamente.
- 4) Se observó una reducción de las emisiones totales entre la presente actualización y el inventario previo de alrededor de 10,000 Gg de CO₂ equivalente, durante los años de 1994, 1996 y 1998.
- 5) Se recomienda contabilizar ganado exótico (elefantes, camellos búfalos) que existen en zoológicos, ranchos cinegéticos o colecciones privadas, así como mulas y asnos, patos, gansos, codornices y

TABLA 6.8 EMISIONES DEL GANADO Y CULTIVOS DEL SECTOR AGRICULTURA EN GG DE CO₂ EQUIVALENTE DE 1990 AL 2002 EN MÉXICO

CO ₂ EQ. (Gg)	1990	1992	1994	1996	1998	2000	2002
Ganado	39,976.11	39,080.42	38,424.075	36,882.86	37,688.29	37,458.32	38,527.55
	84%	85%	84%	84%	83%	82%	83%
Cultivos	7,451.46	6,969.06	7,079.79	7,193.84	7,756.43	8,068.44	7,618.54
	16%	15%	16%	16%	17%	18%	17%
TOTAL	47,427.57	46,049.48	45,503.87	44,076.70	45,444.72	45,526.76	46,146.09

pollitos, en los posteriores censos agropecuarios.

- 6) Es necesario desarrollar investigación en este sector para estimar los factores de emisión por fugas. También se sugiere iniciar otros estudios para generar factores de emisión para los cultivos que se siembran en nuestro país.
- 7) Además, con la información disponible sería posible realizar estimaciones de las tendencias del crecimiento agrícola, mediante estudios de caso (como la evaluación del uso del suelo), cruzando información con el sector uso del suelo, cambio

del uso del suelo y silvicultura, lo que induciría a estudiar los procesos alternativos que permitan mitigar las emisiones en este sector.

- 8) Se recomienda buscar datos de la cantidad de alimento que se consume por tipo de ganado y por región climática.
- 9) Los nuevos inventarios censales de ganado deben reportar estructura de la población, peso medio, tasa anual de incremento de peso, dieta y peso promedio por tipo de ganado.

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

La categoría de uso de suelo, cambio del suelo y silvicultura (USCUSS) es un caso particular a nivel nacional, a diferencia de los otros sectores que conforman el inventario, por presentar problemas en dos órdenes importantes; 1) Las metodologías propuestas por el PICC son inapropiadas en varios aspectos (i.e, las clases de vegetación utilizadas a nivel nacional vs las propuestas en la Guía 1996 y 2) En el país no existía una cultura que permitiera mantener estadísticas forestales utilizando metodologías consistentes a lo largo del tiempo y manteniendo series históricas. Estas deficiencias han conducido a carencias importantes y falta de credibilidad en los datos de actividad forestal que se requieren para elaborar el inventario de GEI.

Los problemas señalados han ocasionado que los inventarios de GEI del sector forestal se hayan realizado aplicando el Nivel o Tier (en inglés) más general (Nivel 1). Esto implicó utilizar muchas simplificaciones en la clasificación de la vegetación, en los parámetros asociados a las emisiones de GEI y el uso de

valores por defecto de la literatura internacional. En consecuencia, las estimaciones del sector, presentan la incertidumbre más alta y difícil de cuantificar dentro del inventario nacional. Asimismo, en el inventario forestal 1996 se estimó solamente hasta el período 94-96 con un nivel 1 debido al rezago y poca confiabilidad de la información forestal, particularmente sobre las tasas de deforestación y densidades de biomasa y carbono en suelos.

Partiendo de las consideraciones anteriores, el presente trabajo propone actualizar las emisiones derivadas del sector USCUSS para el período 1993 a 2002, a partir de datos de actividad y factores de emisión nacionales, confiables y actualizados para mejorar y determinar la certidumbre de las emisiones de GEI para la categoría. Afortunadamente hoy en día México cuenta con una base de información suficiente y confiable para mejorar las estimaciones de GEI a nivel nacional. Específicamente, el presente estudio plantea la actualización del inventario nacional de USCUSS

utilizando el Nivel 2 del PICC y para ello se han definido 5 actividades principales:

1. Estandarizar las clasificaciones de vegetación y uso del suelo a nivel histórico en México y adaptarlas a los requisitos del IPCC.
2. Determinar el grado de deforestación por tipo de vegetación para el periodo 1993-2002 a través de la revisión de datos nacionales en México.
3. Actualizar los parámetros biofísicos relacionados con el carbono, tales como la biomasa (arriba y debajo del suelo), contenido de carbono en los suelos forestales, entre otros parámetros
4. Actualizar las series históricas y bases de datos sobre producción y consumo de productos forestales y actividades de manejo forestal y reforestación
5. Adaptar la metodología del PICC a las condiciones particulares de México.

Para conseguir los objetivos indicados se conjuntó un equipo de investigación interdisciplinario integrado por investigadores y técnicos de tres instituciones académicas del país con amplia experiencia en el tema de inventarios de gases de efecto invernadero y aspectos relacionados con la captura y emisiones de estos gases en los ecosistemas forestales. Se trabajó también en permanente comunicación con varias instituciones oficiales, incluyendo el Instituto Nacional de Ecología, la Comisión Nacional Forestal, el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) y otros organismos.

7.1. Información de las Actividades

7.1.1. Cambios de Biomasa en Bosques y otros tipos de vegetación leñosa

Los procesos de deforestación y degradación de los bosques por efecto de las actividades humanas constituyen una de las principales fuentes de emisiones de gases de efecto invernadero en México (Masera et al., 1997). No obstante, los bosques en México tienen un gran potencial para convertirse en “captadores netos” de carbono mediante apropiadas políticas de apoyo,

y la implementación de técnicas silvícolas que mejoren su producción. Bajo esta perspectiva, el manejo silvícola y la reforestación de los bosques se presentan como opciones de corto y mediano plazo en la mitigación del cambio climático (Sheinbaum y Masera, 2000). Para la aplicación del árbol de decisión, se contó con los siguientes datos de actividad y factores de emisión:

Datos de actividad: estadísticos de aprovechamientos forestales a nivel del estado para los años de 1995 hasta 2002, por tipo de bosques, y especies aprovechadas más importantes. También se cuenta con datos sobre superficies reforestadas a nivel de estado (1993-2000) o municipio (2001-2002), incluyendo número de árboles por especie.

Factores de emisión: Para cada estado existen datos de incrementos para las coníferas más importantes y para encinos. Los incrementos de especies tropicales fueron estimados a partir de datos no publicados de De Jong et al. Factores por defecto incluye el contenido de carbono en biomasa y factores de expansión.

Por lo anterior, el nivel de gradación de este capítulo es el 2, con algunos factores por defecto (nivel 1). Se estiman la captura y la emisión de carbono derivadas del manejo silvícola de bosques y de otros tipos de vegetación en México. También se estiman la captura y emisión de carbono derivado de la extracción de leña. De acuerdo a los datos disponibles un total de 6'239,000 has de bosques (4'854,000 has) y selvas (1'385,000 has) están bajo un plan de manejo forestal, 1'593,000 fueron reforestados y aproximadamente 35'894,000 has se usan para la extracción de leña (Tabla 7.8). Las actividades de aprovechamiento de madera corresponden a un total de 20'323,000 m³ en rollo y 17'611,000 Gg de biomasa para leña, cada año (Tabla 7.10).

7.1.2. Bióxido de carbono proveniente de la conversión de Bosques y Pastizales

En México, el cambio de uso de suelo es la segunda fuente más importante de emisiones de GEI a la atmósfera (Sheinbaum y Masera 2000; SEMARNAT-INE 2001). Según cifras del anterior inventario de GEI (SEMAR-

NAT-INE 2001), el cambio en el uso de suelo ocurrido entre 1980 y 1996 emitió poco más de 54,000 Gg C al año; 55% de la cuales provinieron de la deforestación de bosques y selvas (SEMARNAT-INE 2001).

En general, el análisis del cambio en el uso de suelo y su efecto sobre las emisiones de GEI a la atmósfera se asocia a una tasa de conversión de la cubierta vegetal. Sin embargo, el impacto sobre estos flujos también depende de la dirección con la que ocurra el proceso de conversión. En México, tal como se ha presentado en inventarios previos, las estimaciones de emisiones de GEI no han reflejado estas vías de conversión. Lo anterior es importante, pues mientras el proceso de deforestación significa por lo regular una pérdida abrupta de la biomasa viva, la transición de vegetación secundaria a vegetación primaria es un proceso lento, que depende de la tasa de incremento y acumulación de la biomasa.

En esta sección se describen los procedimientos y principales resultados obtenidos en el cálculo del cambio de uso de suelo, periodo 1993-2002.

Datos de actividad: Se tiene disponible los mapas digitales de uso de suelo y vegetación de INEGI para los años 1993 y 2002, con los cuales se generaron matrices de cambio de uso de suelo entre todas las clases distinguidas. Por razones prácticas se reagruparon las clases de INEGI a 18 clases para el inventario de GEI.

Factores de emisión: Se cuenta con datos de muestreos, realizado en 1992-1994, con aproximadamente 16,000 puntos de muestreo distribuidos en todas las clases de uso de suelo y el país. Para calcular la biomasa correspondientes se usaron las ecuaciones por defecto, contenido de carbono por defecto, las fracciones de biomasa quemado y oxidado en sitio, fracciones de biomasa quemado y oxidado fuera del sitio, y fracciones dejados para descomposición en sitio se estimaron a partir de juicio de expertos. Se usó el factor por defecto para calcular la biomasa abajo del suelo (raíces).

Por lo anterior el análisis se considera a nivel 2 de gradación por todos los datos disponibles con mucha precisión espacial, con algunos factores por defecto del nivel 1.

Se presenta la estimación del contenido de biomasa por cobertura vegetal, su contribución en los flujos

de CO₂ a la atmósfera (considerando la tasa y dirección del proceso de conversión), así como el nivel de certidumbre asociado a dichas estimaciones. En este rubro se incluye los cambios de vegetación primaria y secundaria arbórea a todas las otras clases de cobertura que no sea primaria y cambios de vegetación secundaria arbustiva y herbácea a pastizales o áreas agrícolas. Un total de 1'036,600 has se convierten cada año, los cuales corresponden a 676,300 has de bosques y selvas con vegetación primaria y secundaria arbórea, 230,000 has correspondientes a bosques y selvas con vegetación secundaria arbustiva y herbácea y 130,300 has correspondientes a matorrales, humedales y otros (Tabla 7.13).

7.1.3. Emisiones de gases traza distintos al CO₂ derivados de la combustión in situ de la biomasa forestal

Los procesos de combustión y descomposición de la biomasa son los principales generadores de gases traza.

Datos de actividad: los datos de actividad se derivan de la sección anterior correspondiente a la quema de biomasa en sitio.

Factores de emisión: En esta sección se aplicaron los valores por defecto para calcular las emisiones de GEI no-CO₂, a partir de la biomasa quemada en sitio de la sección anterior.

Dado que la cantidad de biomasa quemada en sitio fueron estimadas con factores por defecto, se considera que esta sección tiene el nivel 1 de gradación. En México la influencia antropogénica de los últimos tiempos sobre el sistema natural, ha propiciado que la proporción de estos gases vaya en aumento siendo mas frecuentes por la quema de biomasa de los bosques, favoreciendo de este modo el aumento de la temperatura y afectando negativamente su equilibrio natural. Se sugiere usar en un futuro los datos que están colectando en CONABIO respecto a los puntos de calor, para de allí asignar factores de emisión. Para este informe no se contaron con los factores de emisión, actualmente en proceso de generación por la US-EPA. Se espera que estos factores estén disponibles pronto para el caso de México.

7.1.4. Abandono de las áreas manejadas

Como se mencionó en la sección 7.1.2 el cambio de uso de suelo es un proceso con alta dinámica en el cuál los cambios por el abandono de los actuales usos de suelo es una actividad constante. En México las tasas de cambio de uso de suelo varían de acuerdo a diferentes factores, de los que destacan el tipo de vegetación y el relieve. Los procesos de abandono son más frecuentes en las zonas tropicales debido a las características edáficas y uso de suelo, sin embargo el resto de los tipos de vegetación no quedan exentas de esta actividad.

Datos de actividad: Para esta sección se cuenta con los mismos datos que se mencionaron en la sección 7.1.2.

Factores de emisión: Se usaron datos de incrementos anuales con base en información nacional a partir de reportes y artículos publicados. Se usaron los mismos factores por defecto que se presentaron en la sección 7.1.1 para convertir los incrementos anuales en biomasa y carbono.

Por lo anterior se considera que esta sección tiene el nivel 2 de gradación, con algunos factores por defecto (Nivel 1).

Se analizan las remociones de carbono efectuadas durante el proceso de recuperación de vegetación leñosa, procedentes del abandono de áreas de cultivo y pastizales en dos etapas de tiempo, en las cuales solo se contabiliza las áreas que cambian de un uso no forestal a forestal. Todas aquellas áreas que no cambian y se mantienen en el tiempo con su actual uso de suelo, no se incorporan al cálculo porque se asume que la absorción de carbono es igual a la emisión por lo que no hay cambios en los reservorios en estos sitios (PICC, 1996). Aquí se incluye toda la vegetación secundaria herbácea y arbustiva que cambió a vegetación primaria y secundaria arbórea. Entre 1993 y 2002 un total de 5'071,600 has fueron abandonadas, del cual 2'522,300 has corresponden a vegetación secundaria abandonada y regenerando a bosques y selvas primarias y secundarias arbóreas, 197,000 has de matorrales secundarias y 1'473,000 has de áreas agrícolas, pecuarias y forestales (Tabla 7.16). El restante, 879,000 has corresponden a pastizales naturales, (768,000 has), manglares con vegetación secundaria

(45,000 has) y otros (66,000 has) abandonados. Para el período anterior a 1993, se tomó en cuenta sólo la regeneración de vegetación secundaria a bosques y selvas primarios, con un total de 555,000 has abandonadas.

7.1.5. Cambios en el carbono de los suelos minerales

La cuantificación del cambio en el contenido de carbono en los suelos inducido por el cambio de uso, permite generar una estimación del balance entre las capturas y emisiones netas de dióxido de carbono desde este medio (PICC, 1996).

Datos de actividad: En este capítulo se analiza, a partir de la matriz de cambio de uso de suelo entre los años 1993 y 2002, por tipo de suelo.

Factores de emisión: las emisiones de dióxido de carbono desde los suelos de la Republica Mexicana y su contribución al total de los gases de efecto invernadero (GEI) generados desde el sector "Uso de suelo, cambio de uso de suelo y bosques" (USCUSS) se generan a partir de datos colectados en el campo. Se cuenta con datos de carbono en el suelo para la mayoría de tipos de suelo existentes en la república, a partir de la base de datos generados por INEGI y Colegio de Posgraduados (actualmente 4,500 sitios de muestreo). Se utilizaron los mapas de suelo y mapas de uso de suelo para calcular las emisiones.

Por lo anterior se considera que esta sección tiene el nivel 2 de gradación. Las superficies correspondientes a la estimación de emisiones del carbono de los suelos minerales corresponden a la conversión de bosques y pastizales y abandono de áreas manejadas.

7.1.6. Carbono del suelo en áreas impactadas por la agricultura

En esta sección se analiza el contenido de carbono en los suelos (COS) que originalmente estaban bajo vegetación nativa (bosque, selvas, etc.) y que experimentaron un cambio de uso hacia actividades agrícolas en la Republica Mexicana. Se trata de medir el impacto de diferentes actividades agrícolas en el COS, provocado por el cambio.

Datos de actividad: Tipos de uso de suelo que se ha convertido a agricultura, por tipo de suelo de acuerdo a la clasificación de PICC.

Factores de emisión: factores de manejo agrícola, considerados mayoritariamente por defecto.

Se calculó el contenido de COS en la sección 7.1.5

También esta sección se considera nivel 2 de gradación, dado que el contenido de carbono se deriva de datos nacionales. Los impactos de áreas impactadas por la agricultura sólo se calculan a nivel de unidad de superficie, el impacto total sobre las emisiones no está contemplado en este informe, ya que el Software IPCC versión 1.1 no tiene las ligas a las superficies impactadas.

7.1.7. Emisiones de carbono por el manejo intensivo de suelos orgánicos

De acuerdo a la definición de PICC, este tipo de suelos no se distribuyen en México y por lo tanto no se consideran en el reporte.

7.1.8. Emisiones de carbono por encalado de suelos agrícolas

De acuerdo a la documentación consultada, los suelos dedicados al cultivo de piña son sometidos periódicamente a encalado. El área utilizada para este cultivo corresponde a 30,320 has. No existen muchos datos sobre el impacto de encalado, pero tomando en consideración la producción total de cal en el país, las emisiones derivadas del encalado no representan cantidades significativas.

Sólo se usan factores de emisión por defecto, aunque la estimación del uso de cal proviene de datos nacionales. El nivel de gradación es entre 1 y 2.

7.2. Método

7.2.1. Cambios de Biomasa en Bosques y otros tipos de vegetación leñosa

Para fines de este inventario, se definió a la vegetación con manejo silvícola como aquella que experimenta

una intervención humana periódica o continúa que afecta significativamente sus almacenes de carbono, independientemente que sus fines sean comerciales ó no comerciales (IPCC 2003). Para el caso particular de México, la vegetación con manejo silvícola se clasificó de la siguiente manera:

- a) Bosques y selvas nativos con aprovechamientos de madera industrial.
- b) Bosques y selvas nativos con aprovechamiento de leña.
- c) Plantaciones forestales comerciales.
- d) Plantaciones de reforestación.

Los procesos que influyen directamente sobre el almacén de carbono de los bosques son: (a) la producción de biomasa, que incrementa el almacén de carbono a través de la fijación de dicho elemento durante el proceso fotosintético, y (b) la remoción de madera industrial y leña, que promueve la emisión de carbono hacia la atmósfera a través de la quema y degradación de la biomasa vegetal. El balance de estos procesos determina la cantidad neta de carbono que captan o pierden los bosques mediante su manejo silvícola.

Cálculos

Para estimar los flujos C en los bosques se usó la metodología desarrollada por el IPCC (2003), como se detalla a continuación. Es preciso mencionar que en esta sección sólo se cuantifican los flujos de carbono derivados de los cambios en la biomasa aérea de la vegetación, no se tomó en cuenta posibles cambios en los reservorios de raíces, materia muerta, suelo y hojarasca, ya que no hay datos disponibles a nivel nacional. Para el cálculo de cambios en la biomasa aérea se utilizó el método 1 (ecuación 3.2.2, GPG2003).

Captura de carbono

La captura anual de carbono se calculó a partir del incremento anual de biomasa vegetal en cada tipo de bosque/plantación con manejo silvícola (Ecuación 1,

Ecuación 3.2.4 GPG2003). No se tiene datos disponibles para calcular los incrementos anuales por zona climática, por lo que se calculó los incrementos por tipo de bosque o selva.

$$\Delta C_{FFG} = \sum_{i=1} (A_i * G_i) * CF \quad (1)$$

Donde:

ΔC_{FFG} = Incremento anual de las reservas de carbono debidas a la producción de biomasa en superficies de bosques, Mg C año⁻¹

A_i = Superficie forestal por tipo de bosque/plantación (i = desde 1 hasta n), ha

G_i = Tasa de incremento medio anual de biomasa aérea, en toneladas de materia seca, por tipo de bosque (i = desde 1 hasta n), Mg m.s. ha⁻¹ año⁻¹

CF = Fracción de carbono de la materia seca (por defecto=0.5), Mg de C (t de m.s.)⁻¹.

La tasa de incremento medio anual de biomasa aérea (G) en bosques de coníferas, bosques de latifoliadas y plantaciones se calculó a partir de la combinación de datos de incrementos volumétricos de madera (Iv) con valores de densidad básica de la madera y factores de expansión para incrementos de biomasa (BEF₁; Ecuación 2, Ecuación 4.2.5 GPG2003).

$$G = Iv * D * BEF_1 \quad (2)$$

Donde:

G = Tasa de incremento medio anual de biomasa aérea, t m.s. ha⁻¹ año⁻¹

Iv = Incremento medio anual de volumen de madera comercial, m³ ha⁻¹ año⁻¹

D = Densidad básica de la madera, t m.s m⁻³

BEF₁ = Factor de expansión de biomasa para convertir el incremento neto anual a incremento de biomasa vegetal total aérea, sin unidades.

Para el caso de selvas bajas y selvas altas/medianas se usaron datos de tasas de incremento medio anual de biomasa “por defecto” dada la carencia de información nacional al respecto. Sin embargo, se verificó que

los datos usados estuvieran dentro de los intervalos reportados para bosques mexicanos.

Emisión de carbono

La emisión de carbono en bosques con manejo silvícola se calculó como la suma de las pérdidas de biomasa vegetal resultantes de las talas comerciales y del consumo de leña (Ecuación 3, Ecuación 3.2.6 GPG2003). Cabe mencionar que la metodología del IPCC (2003) para Inventarios de GEI tiene el supuesto “por defecto” que todo el carbono que es removido durante los aprovechamientos de biomasa (madera) es emitido en el año de cosecha. Aunque incluye la posibilidad de que los países reporten reducción de emisiones sí documentan que las reservas de productos del bosque (madera y leña) del país están aumentando. Asimismo, para fines de este inventario sólo se consideran las emisiones generadas por el consumo doméstico o residencial de leña, excluyendo las emisiones generadas por el sector comercial informal (p.ej. cocción de alimentos en comedores turísticos), y el sector de la pequeña industria (p. ej. alfarería, ladrilleras).

$$\Delta C_{FF_L} = L_{comercial} + L_{leña} \quad (3)$$

Donde:

ΔC_{FF_L} = Disminución anual del almacén de carbono debido a la tala de bosques, Mg C año⁻¹.

$L_{comercial}$ = Pérdida anual de carbono generada por las talas comerciales, Mg C año⁻¹

$L_{leña}$ = Pérdida anual de carbono generada por el consumo doméstico de leña, Mg C año⁻¹

La pérdida anual de carbono generada por la tala para madera industrial se estimó con la Ecuación 4 (Ecuación 3.2.7 GPG2003).

$$L_{industrial} = H * D * BEF_2 * FC \quad (4)$$

Donde:

$L_{industrial}$ = Pérdida anual de carbono debida a la tala para madera industrial, Mg C año⁻¹

H = Volumen de madera industrial extraído anualmente, rollo, m³ año⁻¹
 D = Densidad básica de la madera, t m.s m⁻³
 BEF₂ = Factor de expansión de biomasa para convertir volumen de madera a biomasa aérea total (incluye corteza), sin unidades.
 CF = Fracción de carbono de la materia seca (por defecto=0.5), Mg C (t m.s)

El consumo residencial de leña se calculó con el modelo "WISDOM" (por su siglas en inglés, Woodfuel Integrated Supply/Demand Overview Mapping; Masera *et al* 2005; 2006), de acuerdo con la ecuación 5.

$$C = \sum_{i=1}^5 (CU_i * f_i * Cl) * (U + M * 0.5) \quad (5)$$

Donde:

C = consumo residencial de leña, Mg ms año⁻¹
 CU_i = consumo per cápita de leña en las principales zonas ecológicas del país, Mg ms año⁻¹
 F_i = porcentaje de superficie del país cubierta por las principales zonas climáticas, %
 Cl = coeficiente que ajusta el consumo per cápita de leña por las temperatura mínima del país. Este coeficiente fue estimado a partir de una correlación espacial entre las temperaturas mínimas anuales medidas en México y el consumo per cápita reportado en la literatura en México.
 U = Usuarios exclusivos de leña. Estimado como el producto del número de viviendas que consumen exclusivamente leña por el número promedio de habitantes por vivienda (INEGI 2000).
 M = Usuarios mixtos de leña. Estimado como U * 0.25, (Díaz 2000). Se multiplica por 0.5 porque en teoría los usuarios mixtos consumen la mitad de leña que consumen los usuarios exclusivos.

El consumo residencial de leña no renovable (cuando la cosecha de leña excede el crecimiento de los bosques fuente) se calculó con la ecuación 6.

$$B = S - C \quad (6)$$

Donde:

B = Consumo residencial de leña no renovable.
 S = Abastecimiento de leña por localidad, Mg ms año⁻¹
 C = Consumo residencial de leña
 El suministro de leña por localidad se estimó con la ecuación 7.

$$S = \sum_{j=1}^{13} (A_j * P_j) \quad (7)$$

Donde:

S = Suministro de leña por localidad, Mg ms año⁻¹
 A_j = Superficie accesible para uso de leña en cada localidad por tipo de cobertura "j", ha (ver adelante).
 P_j = Productividad de leña por tipo de cobertura m³ ha⁻¹ año⁻¹

Cálculos de incertidumbre

Para estimar la incertidumbre asociada al cálculo de los flujos de carbono se ocupó el método de Nivel 1 (PICC 2003), el cuál permite combinar las incertidumbres de varias cantidades a partir de ecuaciones de propagación de errores. La ecuación 8 permite estimar la incertidumbre de un producto de varias cantidades, puede usarse, por ejemplo, cuando una estimación de las emisiones se presenta como el producto de un factor de emisión y de un dato de actividad.

$$U_{total} = \sqrt{U_1^2 + U_2^2 + \dots + U_n^2} \quad (8)$$

Donde:

U_{total} = Porcentaje de la incertidumbre con respecto al producto de las cantidades (la mitad del intervalo de confianza de 95% dividido por el total y expresado en porcentaje).
 U_i = Porcentaje de las incertidumbres asociadas a cada una de las cantidades, i = 1, ..., n.

Cuando las cantidades inciertas se combinan sumándolas o restándolas, como por ejemplo cuando se calcula la incertidumbre general en las estimaciones de emisiones de carbono de distintas fuentes, se usa la Ecuación 9.

$$U_{total} = \sqrt{(U_1 * X_1)^2 + (U_2 * X_2)^2 + \dots + (U_n * X_n)^2} / X_1 + X_2 + \dots + X_n \quad (9)$$

Donde:

U_{total} = Incertidumbre porcentual de la suma.

U_i = Incertidumbre porcentual asociada a la fuente/sumidero i .

x_i = Estimación de la emisión/ la absorción relativa a la fuente/al sumidero i .

Para estimar la incertidumbre asociada a los distintos datos de actividad y factores de emisión se usaron métodos estadísticos, cuando se contó con suficientes datos para aplicarlos, y el dictamen de los expertos, cuando no se contó con información adicional.

Fuentes y manejo de información

En esta sección se presentan las fuentes de información usadas para los cálculos de los flujos de carbono en bosques con manejo. Asimismo, se describe brevemente como se maneja la información, incluyendo los supuestos empleados para algunas estimaciones.

Bosques nativos con manejo

Como fuente de información de las superficies con manejo se usó la base de datos “Aprovechamientos Forestales Nacionales” (SEMARNAT 2002), que contiene el padrón de predios con permiso para aprovechamientos forestales del país para el periodo aproximado 1994-2013. Por falta de registros, esta base de datos fue complementada con información de SEMARNAT (2000), SEMARNAT-Chiapas (2004), SEMARNAT-Michoacán (2004), SEMARNAT-Tamaulipas (2004). Las superficies de bosque fueron agrupadas por entidad federativa y tipo de vegetación, de acuerdo con la siguiente clasificación: Bosques de Coníferas, Bosques de latifoliadas, Bosques mixtos (coníferas-latifoliadas), Selvas bajas-Matorral subtropical y Selvas altas-Selvas medianas.

Los incrementos de biomasa de bosques de coníferas, bosques de latifoliadas y bosques mixtos fueron calculados con datos de incremento medio anual (en volumen) del Inventario Nacional Forestal (1994), en combinación con datos de densidad básica de la madera de estudios de caso en México y factores de ex-

pansión de biomasa “por defecto” (PICC 2003). Para selvas bajas-matorral subtropical y selvas altas-selvas medianas se usaron datos de incremento de biomasa “por defecto” (Tabla 7.8; PICC 2003).

Plantaciones forestales comerciales

Como fuente de información de las superficies de plantaciones forestales se usó de la base de datos “Proyectos de Plantaciones Forestales Comerciales Apoyados (1997-2003; CONAFOR-PRODEPLAN 2004) que contiene el padrón de beneficiarios del PRODEPLAN. Sin embargo, la información contenida en esta base de datos fue ajustada con base en las Evaluaciones hechas al PRODEPLAN en los Ejercicios Fiscales 2003 (FCF-UANL, 2004) y 2004 (UV, 2005).

Se usaron los datos de incremento medio anual de madera (en volumen) reportados por la Universidad Veracruzana (2005), los cuales están basados en una recopilación de información de fuentes gubernamentales y de la literatura especializada. Estos incrementos se calcularon para diferentes grupos de especies considerando su tasa de crecimiento y su afinidad con alguna región climática (Tabla 7.8).

Plantaciones de reforestación

Se construyó una base de datos de la superficie reforestada y el número de árboles plantados por entidad federativa para el periodo 1960-2002, con información de las siguientes dependencias: SARH (1990), SEMARNAP (1999), CONAFOR (2003), CONAFOR (2004). Con base en la Evaluación al PRONARE 2003 (UACH 2004), en la cuál se estima que el 10% de los predios no son reforestados y que el 10% de las plántulas no son plantadas, en este estudio se redujo un 20% la superficie reportada como reforestada.

El incremento de biomasa se estimó a partir de estudios de reforestación en México. Se estimó un incremento medio anual (en volumen) para árboles de coníferas. Posteriormente, dicho incremento se multiplicó por la densidad promedio de las plantaciones para calcular un incremento por unidad de superficie (Tabla 7.8). La densidad de las plantaciones fue ajus-

tada bajo el supuesto que sólo el 34% de las plántulas sobreviven hasta un estado maduro (FAO, 1990).

Aprovechamientos de madera industrial

La información sobre aprovechamientos autorizados de madera industrial se compiló de los Anuarios estadísticos de la producción forestal (SEMARNAT 1995-2003), en los cuales presentan los volúmenes de madera aprovechados por entidad federativa y grupos de especies (Tabla 7.10).

Dada la naturaleza de los aprovechamientos no autorizados de madera, no existe información formal sobre ellos. Por ello, en este estudio se usó la estimación sobre tala ilegal hecha en el Plan Estratégico Forestal 2025 (Tabla 7.10, SEMARNAT 2001).

Los valores de volumen de madera fueron transformados a biomasa con datos de densidad básica de la madera recopilados de estudios de caso en México, y de datos de expansión de biomasa “por defecto” (PICC 2003).

Uso de leña

No existe información oficial sobre la superficie de bosques usados para aprovechamientos de leña. Sin embargo, dada la importancia del uso de leña en México, se hizo una estimación de dicha superficie con la finalidad de hacer un balance de los flujos de carbono derivados del uso de leña (ver adelante). Esta superficie se definió como el área de bosque que se encuentra dentro de la periferia de 5 km de las poblaciones de más de 100 habitantes y con más de 20 viviendas que consumen leña. Su cálculo se hizo con el uso del mapa de localidades de México (INEGI-CENSO 2000) y el mapa del Inventario Nacional Forestal (INE-IG, UNAM 2000). En el mapa de INEGI se ubicaron las localidades que cumplían los requisitos mencionados, lo que resultó en un total de 40,727 (19.7%) localidades de un total de 206,816. El mapa del inventario fue re-clasificado en siete categorías de vegetación: Bosques de coníferas, Bosques mixtos, Selva alta-Selva mediana, Selva baja-Matorral subtropical, Matorrales, Otros (Manglar, Tular, Popal, etc), Agricultura-Pastizal (i.e.

Agricultura de temporal y de riego; Pastizales naturales e inducidos). Estos mapas se combinaron, y en el mapa resultante se calculó la superficie dentro y fuera de los 5km de las localidades por cada tipo de cobertura vegetal.

El incremento de biomasa en superficies accesibles para colecta de leña se calculó partiendo del supuesto de que en México la recolección de leña para uso residencial es una actividad que se desarrolla de manera renovable, es decir que la biomasa que se usa como leña es igual o inferior a la biomasa que los bosques producen anualmente (Díaz 2000; Puentes 2002; Arias 2003). Esto se debe a que las principales fuentes de leña son las ramas y árboles muertos (Puentes 2002; Arias 2003). Así, el incremento de biomasa en estos bosques se supuso igual al consumo renovable de leña dividido entre la superficie accesible para aprovechamiento de leña. Es importante mencionar que en este módulo sólo se consideran las emisiones de C generadas por el uso renovable de leña (ver métodos). Las emisiones generadas por el uso no renovable de leña son reportadas en el módulo de cambio de uso de de suelo, en la sección de biomasa quemada fuera de los bosques que sufrieron un cambio de uso de suelo. El consumo de leña per cápita se estimó a partir de una revisión de estudios de caso en México realizada por Díaz (2000) (Tabla 7.10). El número de viviendas con uso exclusivo de leña, así como el promedio de habitantes por vivienda se compilaron del Censo de Población y Vivienda 2000 (INEGI 2000). Las temperaturas mínimas para cada municipio del país corresponden a las citadas por García, E. - CONABIO (1998b).

Incertidumbre del los cálculos de captura y emisión de carbono

La estimación de la incertidumbre de los cálculos de los flujos de carbono se basó en la combinación de las incertidumbres asociadas a los datos de actividad y a los factores de emisión usados, las cuales se determinaron de manera estadística con funciones de densidades de probabilidad (cuando hubo datos para hacerlo) y a través del “juicio de los expertos”.

La incertidumbre asociada a las superficies forestales y a los incrementos de biomasa se determinó a través de su comparación con otros reportes nacionales. La incertidumbre asociada a la densidad básica de la madera se determinó estadísticamente observando la heterogeneidad de los datos usados. La incertidumbre de los datos “por defecto” (factores de expansión de biomasa, densidad de carbono) se tomó del PICC (2003). Finalmente, la incertidumbre de los cálculos de la biomasa cosechada se determinó a partir de su comparación con cálculos reportados por otras fuentes nacionales. En general, se encontraron pocos datos nacionales para las comparaciones, lo que puede generar un sesgo en los cálculos de incertidumbre. Sin embargo, a decir del PICC (2003), la información sobre la incertidumbre no está orientada a cuestionar la validez de las estimaciones de inventarios, sino a ayudar a priorizar los esfuerzos por mejorar la exactitud de los inventarios en el futuro y orientar las decisiones sobre elección de la metodología.

7.2.2. Bióxido de carbono proveniente de la conversión de Bosques y Pastizales

Definición de las clases de vegetación

Los principales insumos empleados en el análisis de cambio de uso de suelo, fueron:

- mapa de vegetación de 1993 de INEGI, escala 1:250,000 (código Us250s2rv)
- mapa de vegetación de 2002 de INEGI, escala 1:250,000 (código Us250s3v)
- mapa de Eco-regiones de Norteamérica de CONABIO, nivel I

Las coberturas presentes en los mapas de INEGI fueron agrupadas según tipos de bosques: a) Bosque de coníferas; b) Bosque de coníferas-latifoliadas; c) Bosque de latifoliadas; d) Selva alta y mediana; y e) Selvas bajas. Después, en cada una de las clases de vegetación se distinguió una fase primaria o secundaria arbórea, de una fase secundaria arbustiva y herbácea (Tabla 7.1). Las otras clases de uso de suelo considerada

en esta sección incluye Matorral, Humedal, Palmar y Otros. Las pastizales naturales y la clase Agrícola, Pecuaria y Plantaciones (IAPF) cambiaron a clases con mayor densidad de biomasa, por lo que sus cambios se consideraron en áreas abandonadas (Tabla 7.13). Por último, a cada clase de vegetación le correspondió una categoría del mapa de ecoregiones de Norteamérica (Figura 7.1). El mapa de ecoregiones de Norteamérica divide al país conforme a criterios fisiográficos, climáticos, de uso de suelo, entre otros (CEC 1997), por lo que ayuda a comprender parte de la variabilidad observada dentro de una misma clase de vegetación. Por ejemplo, la acumulación de biomasa en la clase de vegetación matorrales, puede diferir si se ubica en la ecoregión California Mediterránea o en la ecoregión Desiertos de Norteamérica. A cada clase de cobertura distinguida se calculó la biomasa presente a partir de los sitios de muestreo que pertenece a esta clase, subdividida por ecoregión. Las diferencias de biomasa entre ecoregiones para cada clase de vegetación se determinaron con un análisis de Anova (Tabla 7.3).

Matrices de cambio de uso de suelo

Con el fin de examinar la ganancia o pérdida de biomasa conforme al proceso de conversión en cada clase de vegetación, se elaboró una matriz de transición por ecoregión. De acuerdo con el manual de procedimientos que aplicó INEGI para la elaboración de los mapas de vegetación 1993 y 2002, estos mapas son comparables y congruentes entre sí en cuanto a la clasificación y digitalización de los polígonos. Por lo anterior, sólo fue necesario emplear un proceso de intersección entre ambos mapas; es decir, se comparó la clase de vegetación presente en 1993 con la de 2002 de cada polígono y sumó la superficie de todas las transiciones.

Actualización de las estimaciones de biomasa

La estimación del contenido de carbono en la vegetación se llevó a cabo en tres etapas (Figura 7.2). Primero, se recabó información dasométrica e información espacial de los principales usos de suelo, coberturas vegetales, tipos de eco-regiones y clases de precipita-

TABLA 7.1 HOMOLOGACIÓN DE LAS CLASES DE VEGETACIÓN DE INEGI CON LAS CLASES PROPUESTAS PARA LA ELABORACIÓN DEL INEGEI

CLASE MAPA DE VEGETACIÓN-INEGI	CLASE VEGETACIÓN- INEGEI 2006
Bosque de ayarin primario	Bosque de Coníferas
Bosque de ayarin secundario arbóreo	Bosque de Coníferas
Bosque de oyamel primario	Bosque de Coníferas
Bosque de oyamel secundario arbóreo	Bosque de Coníferas
Bosque cultivado plantación forestal	Bosque de Coníferas
Bosque de pino primario	Bosque de Coníferas
Bosque de pino secundario arbóreo	Bosque de Coníferas
Bosque de táscate primario	Bosque de Coníferas
Bosque de táscate secundario arbóreo	Bosque de Coníferas
Bosque de ayarin secundario arbustiva	Bosque de Coníferas-veg sec
Bosque de oyamel secundario arbustiva	Bosque de Coníferas-veg sec
Bosque de pino secundario herbáceo	Bosque de Coníferas-veg sec
Bosque de pino secundario arbustiva	Bosque de Coníferas-veg sec
Bosque de táscate secundario herbáceo	Bosque de Coníferas-veg sec
Bosque de táscate secundario arbustiva	Bosque de Coníferas-veg sec
Bosque de encino-pino primario	Bosque de Coníferas-Latifoliadas
Bosque de encino-pino secundario arbórea	Bosque de Coníferas-Latifoliadas
Bosque de pino-encino primario	Bosque de Coníferas-Latifoliadas
Bosque de pino-encino secundario arbóreo	Bosque de Coníferas-Latifoliadas
Bosque de encino-pino secundario herbáceo	Bosque de Coníferas-Latifoliadas-veg sec
Bosque de encino-pino secundario arbustiva	Bosque de Coníferas-Latifoliadas-veg sec
Bosque de pino-encino secundario herbáceo	Bosque de Coníferas-Latifoliadas-veg sec
Bosque de pino-encino secundario arbustiva	Bosque de Coníferas-Latifoliadas-veg sec
Bosque de cedro	Bosque Latifoliadas
Bosque de encino primario	Bosque Latifoliadas
Bosque de encino secundario arbóreo	Bosque Latifoliadas
Bosque de galería primario	Bosque Latifoliadas
Bosque de galería secundario arbórea	Bosque Latifoliadas
Bosque mesófilo de montaña primario	Bosque Latifoliadas
Bosque mesófilo de montaña secundario arbóreo	Bosque Latifoliadas
Bosque de encino secundario herbáceo	Bosque Latifoliadas-veg sec
Bosque de encino secundario arbustiva	Bosque Latifoliadas-veg sec
Bosque de galería secundario arbustiva	Bosque Latifoliadas-veg sec
Bosque mesófilo de montaña secundario herbáceo	Bosque Latifoliadas-veg sec
Bosque mesófilo de montaña secundario arbustiva	Bosque Latifoliadas-veg sec
Manglar primario	Manglar
Manglar secundario arbóreo	Manglar
Manglar secundario herbáceo	Manglar-veg sec
Manglar secundario arbustiva	Manglar-veg sec
Selva de galería primario	Selva Alta y Mediana
Selva de galería secundaria arbórea	Selva Alta y Mediana
Selva alta perennifolia primario	Selva Alta y Mediana
Selva alta perennifolia secundaria arbórea	Selva Alta y Mediana
Selva mediana perennifolia	Selva Alta y Mediana

TABLA 7.1 HOMOLOGACIÓN DE LAS CLASES DE VEGETACIÓN DE INEGI CON LAS CLASES PROPUESTAS PARA LA ELABORACIÓN DEL INEGI
(CONTINUACIÓN)

CLASE MAPA DE VEGETACIÓN-INEGI	CLASE VEGETACIÓN- INEGI 2006
Selva alta subperennifolia primaria	Selva Alta y Mediana
Selva alta subperennifolia secundaria arbórea	Selva Alta y Mediana
Selva mediana subperennifolia primaria	Selva Alta y Mediana
Selva mediana subperennifolia secundario arbórea	Selva Alta y Mediana
Selva mediana caducifolia primario	Selva Alta y Mediana
Selva mediana caducifolia secundario arbórea	Selva Alta y Mediana
Selva mediana subcaducifolia primario	Selva Alta y Mediana
Selva mediana subcaducifolia secundario arbórea	Selva Alta y Mediana
Selva alta perennifolia secundario herbácea	Selva Alta y Mediana-veg sec
Selva alta perennifolia secundario arbustiva	Selva Alta y Mediana-veg sec
Selva mediana perennifolia secundario arbustiva	Selva Alta y Mediana-veg sec
Selva alta subperennifolia secundario herbácea	Selva Alta y Mediana-veg sec
Selva alta subperennifolia secundario arbustiva	Selva Alta y Mediana-veg sec
Selva mediana subperennifolia secundario herbácea	Selva Alta y Mediana-veg sec
Selva mediana subperennifolia secundario arbustiva	Selva Alta y Mediana-veg sec
Selva mediana caducifolia secundario herbácea	Selva Alta y Mediana-veg sec
Selva mediana caducifolia secundario arbustiva	Selva Alta y Mediana-veg sec
Selva mediana subcaducifolia secundario herbácea	Selva Alta y Mediana-veg sec
Selva mediana subcaducifolia secundario arbustiva	Selva Alta y Mediana-veg sec
Selva baja perennifolia	Selva baja
Selva baja perennifolia secundario arbórea	Selva baja
Selva baja subperennifolia secundario arbórea	Selva baja
Selva baja caducifolia primario	Selva baja
Selva baja caducifolia secundario arbórea	Selva baja
Selva baja subcaducifolia primario	Selva baja
Selva baja subcaducifolia secundario arbórea	Selva baja
Selva baja subcaducifolia	Selva baja
Selva baja espinosa subperennifolia secundario arbórea	Selva baja
Selva baja espinosa caducifolia primario	Selva baja
Selva baja espinosa caducifolia secundario arbórea	Selva baja
Selva baja perennifolia secundario arbustiva	Selva baja-veg sec
Selva baja subperennifolia secundario arbórea	Selva baja-veg sec
Selva baja subperennifolia secundaria arbustiva	Selva baja-veg sec
Selva baja caducifolia secundario herbácea	Selva baja-veg sec
Selva baja caducifolia secundario arbustiva	Selva baja-veg sec
Selva baja subcaducifolia secundario arbustiva	Selva baja-veg sec
Selva baja subcaducifolia secundaria herbácea	Selva baja-veg sec
Selva baja espinosa subperennifolia secundario arbustiva	Selva baja-veg sec
Selva baja espinosa caducifolia secundario herbácea	Selva baja-veg sec
Selva baja espinosa caducifolia secundario arbustiva	Selva baja-veg sec
Mezquital primario	Selva baja
Mezquital secundario arbórea	Selva baja
Mezquital secundario arbustiva	Selva baja-veg sec
Chaparral secundario arbustiva	Matorral-veg sec

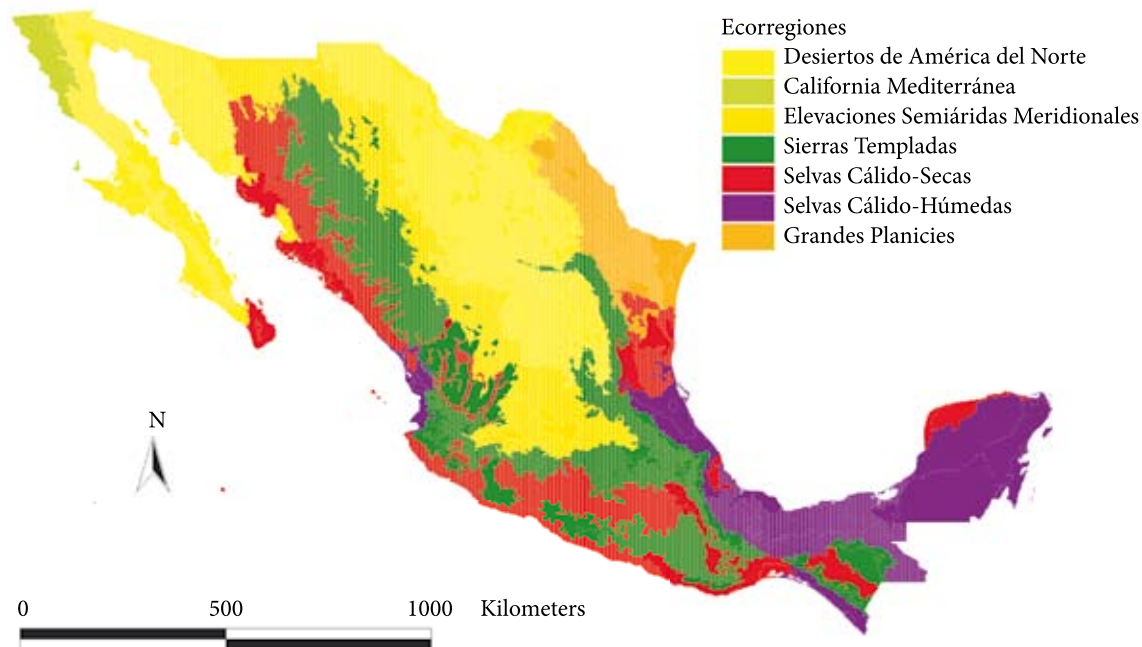
TABLA 7.1 HOMOLOGACIÓN DE LAS CLASES DE VEGETACIÓN DE INEGI CON LAS CLASES PROPUESTAS PARA LA ELABORACIÓN DEL INEGI
(CONTINUACIÓN)

CLASE MAPA DE VEGETACIÓN-INEGI	CLASE VEGETACIÓN- INEGI 2006
Matorral crasicaule primario	Matorral
Matorral de coníferas primario	Matorral
Matorral desértico micrófilo primario	Matorral
Matorral desértico rosetofofilo primario	Matorral
Matorral espinoso tamaulipeco primario	Matorral
Matorral rosetofofilo costero primario	Matorral
Matorral sarcocaulo primario	Matorral
Matorral sarco-crasicaule de neblina primario	Matorral
Matorral sarco-crasicaule primario	Matorral
Matorral submontano primario	Matorral
Matorral subtropical primario	Matorral
Matorral xerófilo o chaparral	Matorral
Matorral crasicaule secundario arbustiva	Matorral-veg sec
Matorral crasicaule secundario herbácea	Matorral-veg sec
Matorral de coníferas secundario arbustiva	Matorral-veg sec
Matorral desértico micrófilo secundario arbustiva	Matorral-veg sec
Matorral desértico micrófilo secundario herbácea	Matorral-veg sec
Matorral desértico rosetofofilo secundario arbustiva	Matorral-veg sec
Matorral espinoso tamaulipeco secundario arbustiva	Matorral-veg sec
Matorral espinoso tamaulipeco secundario herbácea	Matorral-veg sec
Matorral rosetofofilo costero secundario arbustiva	Matorral-veg sec
Matorral rosetofofilo costero secundario herbácea	Matorral-veg sec
Matorral sarcocaulo secundario arbustiva	Matorral-veg sec
Matorral sarco-crasicaule de neblina secundario arbustiva	Matorral-veg sec
Matorral sarco-crasicaule de neblina secundario herbácea	Matorral-veg sec
Matorral sarco-crasicaule secundario arbustiva	Matorral-veg sec
Matorral sarco-crasicaule secundario herbácea	Matorral-veg sec
Matorral submontano secundario arbustiva	Matorral-veg sec
Matorral subtropical secundario arbustiva	Matorral-veg sec
Vegetación inducida	Pastizal natural
Vegetación halófila primario	Pastizal natural
Vegetación halófila secundario arbustiva	Pastizal natural
Pastizal cultivado permanente	Pastizal natural
Pastizal gipsofilo primario	Pastizal natural
Pastizal gipsofilo secundario arbustiva	Pastizal natural
Pastizal halófilo primario	Pastizal natural
Pastizal halófilo secundario arbustiva	Pastizal natural
Pastizal natural primario	Pastizal natural
Pastizal natural secundario arbustiva	Pastizal natural
Pastizal natural secundario herbácea	Pastizal natural
Pradera de alta montaña primario	Pastizal natural
Sabana primario	Pastizal natural
Vegetación gipsofila primario	Pastizal natural
Vegetación halófila secundario herbácea	Pastizal natural

TABLA 7.1 HOMOLOGACIÓN DE LAS CLASES DE VEGETACIÓN DE INEGI CON LAS CLASES PROPUESTAS PARA LA ELABORACIÓN DEL INEGI
()CONTINUACIÓN

CLASE MAPA DE VEGETACIÓN-INEGI	CLASE VEGETACIÓN- INEGI 2006
Vegetación inducida tipo sabanoide	Pastizal natural
Popal	Humedal
Tular	Humedal
Palmar natural primario	Palmar
Palmar natural secundario arbórea	Palmar
Palmar natural secundario arbustiva	Palmar
Sin vegetación aparente	Otros
Acuícola	Otros
Asentamientos humanos	Otros
Cuerpos de agua	Otros
País extranjero	Otros
Vegetación de desiertos arenosos primario	Otros
Vegetación de desiertos arenosos secundario arbustiva	Otros
Vegetación de dunas costeras primario	Otros
Vegetación de galería primario	Otros
Vegetación de peten primario	Otros
Vegetación de peten secundario arbóreo	Otros
Zonas urbanas	Otros
Agricultura de humedad anual ninguno	IAPF
Agricultura de humedad anual permanente	IAPF
Agricultura de humedad anual semipermanente	IAPF
Agricultura de humedad plantación agrícola ninguno	IAPF
Agricultura de humedad semipermanente ninguno	IAPF
Agricultura de humedad semipermanente permanente	IAPF
Agricultura de riego anual ninguno	IAPF
Agricultura de riego anual permanente	IAPF
Agricultura de riego anual semipermanente	IAPF
Agricultura de riego plantación agrícola ninguno	IAPF
Agricultura de riego semipermanente ninguno	IAPF
Agricultura de riego semipermanente permanente	IAPF
Agricultura de temporal anual ninguno	IAPF
Agricultura de temporal anual permanente	IAPF
Agricultura de temporal anual semipermanente	IAPF
Agricultura de temporal plantación agrícola ninguno	IAPF
Agricultura de temporal semipermanente ninguno	IAPF
Agricultura de temporal semipermanente permanente	IAPF
Agr-past-forest	IAPF

FIGURA 7.1 DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LAS ECOREGIONES DE NORTEAMÉRICA (FUENTE: INEGI, S.D.)



ción media anual en el país. En la segunda etapa se emplearon ecuaciones alométricas para calcular la densidad de biomasa aérea y subterránea conforme a grupos de especies (p.ej. coníferas, latifoliadas, palmas). En la última, a partir de la sumatoria de biomasa por sitio, se realizó un análisis estadístico o ANOVA por tipo de vegetación y eco-región.

La información básica requerida para el cálculo de la biomasa total en las principales coberturas vegetales del país fue la siguiente:

1. Base de datos del Inventario Nacional Forestal (SARH 1994)
2. Ecuaciones alométricas publicadas en la literatura
3. Mapa digital de Precipitación Media Anual de CONABIO (escala 1:4,000,000)
4. Versión digital de los mapas de vegetación de INEGI 1993 y 2002 (escala 1:250,000).

Revisión de la base de datos forestal

Se realizó un examen detallado de la información da-

sométrica presente en el Inventario Nacional Forestal (SARH 1994). El Inventario Nacional Forestal (INF) contiene datos de más de 170,000 árboles distribuidos en aproximadamente 16,000 puntos de muestreo. De acuerdo con el protocolo de muestreo, los sitios fueron ubicados sobre las principales clases de usos de suelo y cobertura vegetal del país, conforme a una gradilla imaginaria de 2.5 x 2.5 km (Figura 7.3). Así mismo, cada sitio consistió en una parcela circular con una extensión de 1000 m². La distancia entre tres sitios cercanos (conglomerado) fue de 150 a 250 metros, formando una figura en "L" entre los mismos.

En la revisión efectuada, se detectaron algunos errores en los datos ocasionados principalmente, por ausencia o inconsistencia en la referencia geográfica de los sitios. Por ejemplo, se encontraron parcelas cuya ubicación espacial era errónea debido a fallas tipográficas en el registro de sus coordenadas. También, particularmente en los estados de Michoacán y Sonora, hubo parcelas que carecieron de georeferencia. En este último caso se asignó la información espacial presente en otras parcelas del mismo conglomerado. Sin embargo, algunos sitios fueron totalmente excluidos del análisis cuando ninguna de las parcelas presentaban

georeferencia, cuando en una parcela no se tenía información de especie, eran tocones, cuando la altura o el diámetro normalizado (DN) era cero, o si el cociente entre altura: DN era mayor a un factor de 2.

Selección de ecuaciones alométricas

A partir de ecuaciones alométricas descritas en la literatura, se estimó el contenido de biomasa presente en los árboles de la base de datos. Para el cálculo de la biomasa aérea se utilizaron las ecuaciones de Brown *et al.* 1989 y Brown 1997; mientras que para la subterránea se utilizó la ecuación de Cairns *et al.* 1997. Sólo en el caso de árboles muertos en pie se multiplicó el valor de la biomasa viva por un factor de 0.25. En el Tabla 7.2; se muestran las ecuaciones alométricas utilizadas, conforme a cuatro clases de precipitación y a tres grupos principales de especies (coníferas, hojosas y palmas). Por último, la biomasa arbórea total fue sumada

a nivel de sitio y convertida a toneladas por hectárea. La información de latitud y longitud asociada a cada sitio fue transformada a la proyección Cónica de Lambert para su ubicación en el espacio.

Estimación de la densidad de biomasa por clase de vegetación

Se calculó un valor promedio de biomasa arbórea y arbustiva por sitio de muestreo. Si bien el INF de 1994 no reporta información dasométrica sobre arbustos, si reporta el porcentaje de cobertura de éstos en cada sitio de muestreo. De tal manera, a la estimación de biomasa arbórea a nivel de sitio, se le sumó el producto del porcentaje de cobertura de arbustos por un valor por defecto derivado del inventario de GEI 2000. Posteriormente, se estimó el contenido de biomasa promedio por clase de vegetación mediante un análisis de varianza (ANOVA) de una vía (Tabla 7.3).

FIGURA 7.2 RESUMEN DE LAS ETAPAS EJECUTADAS EN LA ESTIMACIÓN Y ANÁLISIS DE LA BIOMASA: 1) REVISIÓN DE LA INFORMACIÓN DASOMÉTRICA; 2) CÁLCULO DE DENSIDAD DE BIOMASA MEDIANTE ECUACIONES ALOMÉTRICAS Y ANÁLISIS DE ANOVA; Y 3) COMPARACIÓN DE LA DENSIDAD DE BIOMASA POR CLASE DE VEGETACIÓN Y TIPO DE ECO-REGIÓN, PERIODO 1993 Y 2002.

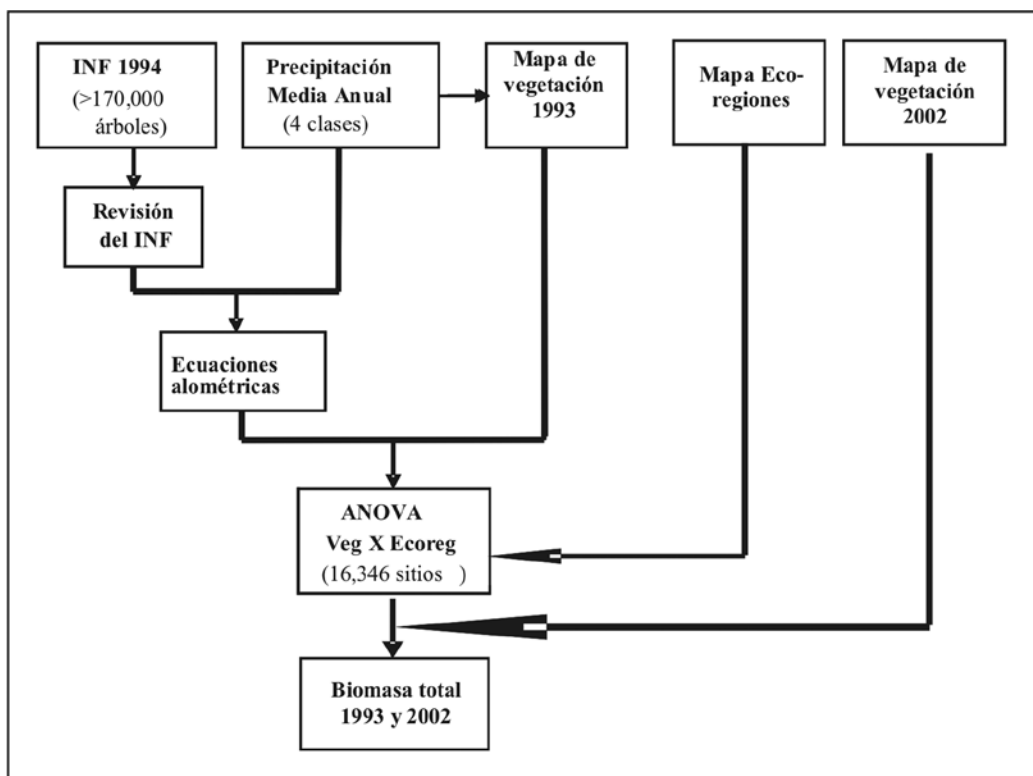


FIGURA 7.3 MAPA DE LA REPÚBLICA MEXICANA MOSTRANDO LA DISTRIBUCIÓN DE LOS SITIOS DEL INVENTARIO NACIONAL FORESTAL DE 1994 (CA. 16,000 PUNTOS) Y LAS CLASES DE PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL.

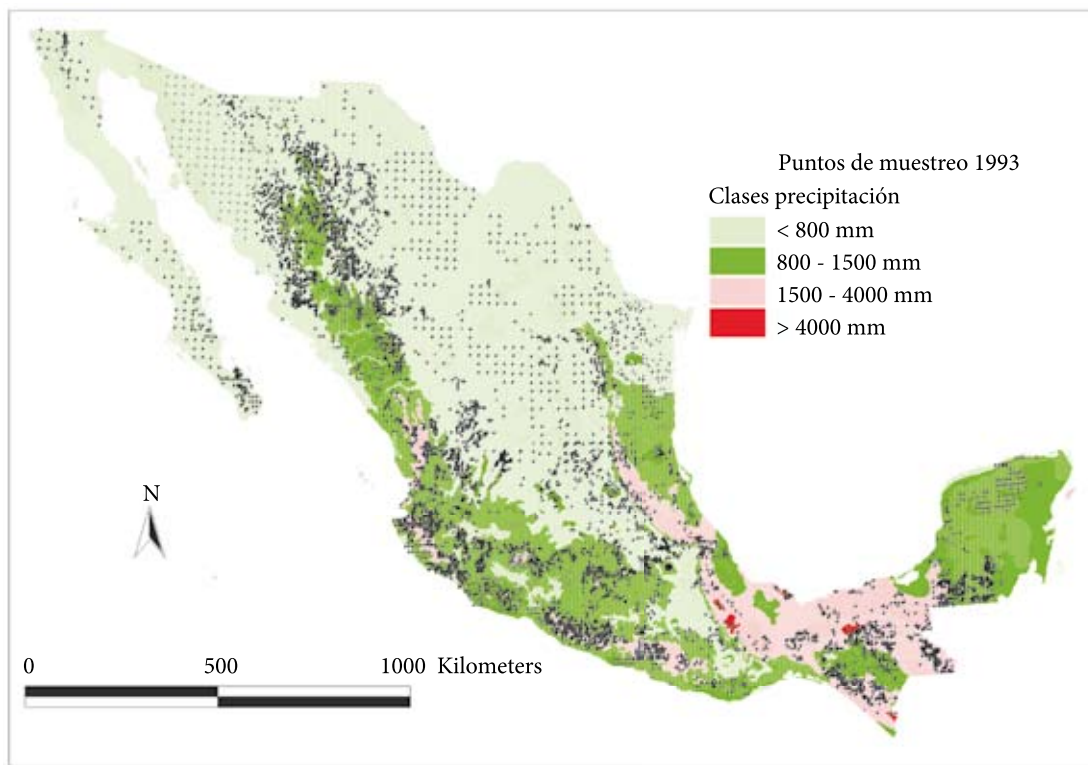


TABLA 7.2 ECUACIONES ALOMÉTRICAS EMPLEADAS EN EL CÁLCULO DE LA BIOMASA ARBÓREA (KG DE MATERIA SECA) POR SITIO DE MUESTREO. SÓLO EN EL CASO DEL GRUPO DE HOJOSAS SE EMPLEARON DIFERENTES ECUACIONES POR CLASE DE PRECIPITACIÓN.

PARÁMETRO DE BIOMASA		PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL	ECUACIÓN	FUENTE
Biomasa aérea	Hojosas	<800 mm	$10^{(-0.535 + \log_{10}(AB))}$	Brown (1997)
		800-1500 mm	$\text{Exp}(-1.996 + 2.32 * \ln(DAP))$	
		1500-4000 mm	$\text{Exp}(-3.1141 + 0.9719 * \ln(DAP^{2*H}))$	Brown <i>et al.</i> (1989)
		>4000 mm	$\text{Exp}(-3.3012 + 0.9439 * \ln(DAP^{2*H}))$	
Biomasa subterránea	Coníferas	todos	$\text{Exp}(-1.170 + 20119 * \ln(DAP))$	Brown (1997)
	Palmas	todos	$>7.5 \text{ cm DAP}; 10 + (6.4H)$	Brown (1997)
	Hojosas	todos	$\text{Exp}(-1.0587 + 0.8836 * \ln(ATB))$	Cairns <i>et al.</i> (1997)
	Coníferas			
	Palmas			

*DAP=Diámetro a la altura del pecho (cm);

H= altura total (m);

AB= área basal (cm²);

ATB= Biomasa aérea arbórea (Mgs/ha)

TABLA 7.3 ANÁLISIS DE VARIANZA DE UNA VÍA DE LA DENSIDAD DE BIOMASA ARBÓREA (MG DM HA⁻¹) PRESENTE POR ECOREGIÓN Y CLASE DE COBERTURA VEGETAL, CON BASE EN LOS DATOS DEL INVENTARIO NACIONAL FORESTAL DE 1994.
N = NUMERO DE SITIOS DE MUESTREO; DM = MATERIA SECA; IC 95% = INTERVALO DE CONFIANZA A 95% DE PROBABILIDAD

TIPO VEGETACIÓN	ECOREGIÓN	N	MEDIA (MG DM)	(IC 95%)
Bosque de Coníferas				
Primario y secundario arbóreo	ST	553	99.3 ^A	(6.4)
	DN; CM; ESM; SCS	74	30.1 ^B	(17.4)
Secundario arbustivo y herbáceo	ST	306	30.8 ^a	(4.6)
	ESM; DN	19	25.5 ^a	(18.3)
Bosque de coníferas y latifoliadas				
Primario y secundario arbóreo	ST	1,357	83.9 ^A	(3.5)
	SCS; ESM; DN; GP	91	54.1 ^B	(13.6)
Secundario arbustivo y herbáceo	ST	461	37.5 ^a	(3.7)
	ESM; DN; SCS	63	28.7 ^a	(10.1)
Bosque de latifoliadas				
Primario y secundario arbóreo	SCH; ST	867	71.5 ^A	(4.0)
	ESM; DN; SCS	206	35.7 ^B	(8.3)
Secundario arbustivo y herbáceo	SCH; ST	383	29.1 ^a	(3.3)
	ESM; SCS	188	22.5 ^b	(4.7)
Selvas mediana y alta				
Primario y secundario arbóreo	SCH; ST	1,020	107.6 ^A	(5.9)
	SCS	106	64.1 ^B	(18.3)
Secundario arbustivo y herbáceo	ST	21	63.6 ^a	(20.5)
	SCH; SCS	417	37.1 ^b	(4.6)
Selvas bajas				
Primario y secundario arbóreo	SCH	91	76.4 ^A	(5.8)
	ST; ESM; DN; SCS; GP	1,043	34.6 ^B	(1.7)
Secundario arbustivo y herbáceo	SCH	21	67.0 ^a	(12.7)
	ST; ESM; DN; SCS; GP	482	27.2	(2.7)
Matorrales				
Primario y secundario arbóreo	ST	64	26.9 ^A	(3.2)
	GP	157	21.1 ^B	(2.0)
	DN; ESM; SCS; CM	1,113	9.8 ^C	(0.8)
Secundario arbustivo y herbáceo	GP; ST; SCS	76	17.0 ^a	(2.3)
	ESM; DN	101	8.4 ^b	(2.0)
Pastizales naturales y cultivados				
	ST; SCH	852	28.5 ^a	(2.9)
	DN; GP; CM; ESM; SCS	663	14.3 ^b	(3.3)
Agricultura de temporal y humedad				
Anual	ST; SCS; SCH	828	27.7 ^a	(2.9)
	ESM; DN; GP; CM	124	9.8 ^b	(7.5)
Semipermanente	ST; SCS; SCH	32	10.1 [†]	(4.8)
Permanente	ST; SCS; SCH	84	26.0 [†]	(6.4)
Agricultura de riego				
Anual	ST; ESM; SCS; SCH; GP	74	20.2 ^a	(5.5)
	DN	16	2.1 ^b	(11.8)
Semipermanente	ST; SCS; SCH	7	10.0 [†]	(15.6)
Permanente	ST; ESM; SCS; SCH; GP	14	27.6 [†]	(28.1)

Nota: Letras seguidas del valor de biomasa promedio denotan diferencias significativas entre las ecoregiones de un mismo tipo de vegetación, según la prueba de comparación múltiple de Tukey ($\alpha=0.05$). Letras mayúsculas corresponden a vegetación arbórea y las minúsculas a vegetación secundaria arbustiva y herbácea. **Ecoregiones:** DN: Desiertos de Norteamérica; CM: California Mediterránea; ESM: Elevaciones Semiáridas Meridionales; ST: Sierras Templadas; SCS: Selvas Cálido-Secas; SCH: Cálido-Húmedas; GP: Grandes Planicies.

Contenido de biomasa total antes y después del cambio

Una vez calculada la densidad de biomasa con la prueba de ANOVA, a esta se le multiplicó por la superficie de cada tipo ecoregión-clase de vegetación presente en 1993. Posteriormente, se estimó la biomasa total y se calculó un promedio ponderado de densidad, según la superficie correspondiente por tipo de vegetación en 1993 (densidad de biomasa antes del proceso de conversión).

Para el cálculo del contenido total de biomasa del área al cual cambió en 2002 las clases de cobertura con vegetación primaria y secundaria arbórea, también se usó la densidad derivada de la prueba de ANOVA, pero ésta se multiplicó por la superficie reportada en las matrices de transición. Así, se estimó el contenido de biomasa total de las clases de vegetación después del proceso de conversión y se dividió entre la sumatoria de sus superficies, para obtener un promedio ponderado de la densidad de biomasa por tipo de vegetación después del cambio. Para las clases de coberturas con vegetación secundaria arbustiva y herbácea, sólo se tomó en cuenta las superficies que cambiaron a pastizales o áreas agrícolas (IAPF). El contenido de biomasa después para todas las clases se calculó con la siguiente fórmula:

$$B_{dk} = \frac{\sum_{ij} A_{ij} * B_{ij}}{\sum_{ij} A_{ij}}$$

Donde:

B_d es la biomasa después del cambio de la clase original k (promedio ponderado de todas las clases a las cuales se ha cambiado la clase original).

A_i es la superficie (en ha) de la clase k que cambió al uso de suelo tipo i en la ecoregión j ,

B_i es la biomasa de la clase de uso de suelo i en ecoregión j al cual fue cambiado la superficie A_{ij} de la clase de uso de suelo k .

Las superficies con vegetación secundaria arbustiva y herbácea que cambiaron a vegetación primaria y

secundaria arbórea se consideraron como áreas abandonadas y están tratados en la sección 7.1.4.

Hay que mencionar que un supuesto importante en la estimación de los promedios ponderados de biomasa, es que los valores reportados en la prueba de ANOVA se mantienen constantes para cada clase de vegetación; es decir, lo único que cambia entre 1993 y 2002 son las superficies que le corresponde a estas clases. También, el que no se consideró como “cambio” a la transición ocurrida entre coberturas en la misma fase sucesional (*p. ej.* de bosque maduro de coníferas a selvas altas y medianas). En ese caso, se interpretó como un error en la delimitación o etiquetado de los polígonos de los mapas de vegetación y se excluyó del análisis de emisiones de carbono.

Cálculo de los flujos de CO₂ por cambios en la biomasa

A partir de las estimaciones de densidad biomasa antes y después de la conversión, se calculó el flujo neto de carbono ocurrido en el periodo de 1993-2002, utilizando el formato de PICC versión 1.1. Las estimaciones de las fracciones de biomasa quemado en el sitio o fuera del sitio, fracciones oxidados en el sitio por las quemas y fracciones que quedan propenso al proceso de descomposición natural se estimaron aplicando el juicio de los expertos.

7.2.3. Emisiones de gases traza distintos al CO₂ derivados de la combustión in situ de la biomasa forestal

De acuerdo a las Directrices del PICC (D PICC 1996R), la estimación de los gases traza distintos al CO₂, depende directamente de la estimación del flujo de carbono realizado en la sección de emisiones de CO₂ precedentes de la conversión de bosques y pastizales.

Las emisiones de CH₄ y CO se estiman como relaciones con respecto a los flujos de carbono emitidos durante la combustión de la biomasa. El contenido total de nitrógeno se estima en base a la relación de carbono-nitrógeno. Las estimaciones de N₂O y NO_x se calculan como relaciones con respecto al nitrógeno total.

7.2.4. Abandono de las áreas manejadas

Los métodos empleados para la estimación de las superficies y de la biomasa antes y después del abandono de los primeros nueve años son tomados del mismo análisis realizado en la sección 7.2.2. Como refieren D PICC 1996R, este análisis emplea la información de no bosque a bosque considerando únicamente la absorción de CO₂ a partir de superficies abandonadas de agricultura y pastizales que en el año de referencia tengan cobertura leñosa. En este caso, la información es tomada del cambio que ocurre Áreas agrícolas-pecuarias y plantaciones (IAPF) y Pastizales por un lado y todos los bosques y selvas con vegetación secundaria herbácea o arbustivo a otros tipos de vegetación leñosa en la matriz de transición. Partimos de la hipótesis que la vegetación secundaria herbácea y arbustiva es parte de áreas agrícolas o ganaderas y que su transformación a tipos de vegetación primaria y secundaria arbórea es parte del ciclo de áreas manejadas abandonadas en forma definitiva o temporal (conocido como roza-tumba-quema, que en una práctica de uso de suelo generalizada en México).

Para las estimaciones de la absorción de carbono por el crecimiento de biomasa en superficies abandonadas de más de 20 años, el método empleado fue semejante al descrito en la sección anterior solo que los cálculos se realizaron a partir de la información del inventario forestal de 1976 y el 2002, en los cuales se utilizaron únicamente las superficies que pasaron de agricultura a bosques, considerando que la vegetación secundaria herbácea o arbustiva abandonada en este período ya no se puede distinguir en los mapas de 2002.

Los métodos empleados para realizar los cálculos de absorción de bióxido de carbono en las áreas abandonadas son los recomendados en la OBP 2005. Según refiere las D PICC 1996R, esta estimación debe incluir únicamente la absorción de CO₂ por la regeneración natural, mientras que la absorción por regeneración artificial (reforestación y plantaciones) debe incorporarse en el módulo de manejo de este inventario. El método detalla que la cuantificación debe centrarse en la biomasa aérea 1) de los últimos 20 años y 2) en

tre 21 años y hasta donde sea posible para atrás. En el caso del presente reporte, la categoría de los últimos 20 años fue modificada a los últimos nueve años por cuestiones de disponibilidad de información. Esto significa que se debe tomar en cuenta esta reducción en tiempo para la siguiente inventario de GEI, ya que va a continuar acumulando biomasa por varios años. La categoría de mas de 20 años comprendió un intervalo de tiempo de aproximadamente 26 años (el mapa de 1970s en un conjunto de mapas con base en fotos áreas de varios años).

El incremento anual utilizado para el análisis de los primeros 9 años y para áreas abandonadas mayores a 20 años, se basan en estudios de caso nacionales e incluye valores por defecto propuestos en las D PICC 1996R (Tabla 7.4).

7.2.5. Cambios en el carbono de los suelos minerales

A partir de la información edafológica publicada en el estudio SEMARNAT-CP (2002) e información proporcionada por los datos de últimas campañas de muestreo de INEGI (datos aún no publicados) se generó una base de datos con 4,422 valores de carbono orgánico distribuidos uniformemente en los suelos de México. La distribución de los sitios se presenta en la Figura 7.4.

Los datos de este estudio SEMARNAT-CP (2002) corresponden a un incremento de profundidad fijo (0-20 cm.) y están asociados a densidades aparentes del sitio. Por su parte los datos de INEGI corresponden a los primeros 30 cm y no presentan información acerca de la densidad aparente. Con el objetivo de cumplir con los requerimientos del PICC para los estudios de inventarios de carbono en el suelo (en cuanto a evaluar por lo menos los primeros 0-30 cm., profundidad donde se espera la mayor proporción de emisiones o capturas ya sea por respiración del suelo o por efectos antrópicos (PICC, 1996)), los valores de carbono orgánico del suelo (COS) fueron estandarizados empleando una técnica de ponderación y extrapolación con base en la información edafológica del INEGI concentrada en su base de datos

TABLA 7.4 CRECIMIENTO MEDIO ANUAL DE BIOMASA POR REGENERACIÓN NATURAL.

TIPO DE VEGETACIÓN	INCREMENTO (MG MS/HA)	
	= 9 AÑOS	> 9 AÑOS
Coníferas	1.3	1.3
Coníferas-latifoliadas	1.1	1.1
Latifoliadas	1.3	1.3
Manglar	0.8	0.8
Selva perennifolia	3.1	0.7
Selva caducifolia	1.1	0.26
Matorrales	0.53	0.26
Pastizales naturales	0.53	s.d.

Fuentes:

Para áreas de abandono menores a 20 años.

Coníferas y latifoliadas

Tropical húmedo y seco, provienen de estudio de caso de Jong (datos no publ.).

Matorrales y pastizales, con base en los datos de incrementos reportados para los estados del norte de la república

Manglar, proviene de D PICC 1996R

Para áreas de abandono mayores a 20 años.

Coníferas y latifoliadas considerado igual al abandono de los primeros 20 años

Tropical húmedo y seco, provienen de estudio de caso de Jong (datos no publ.).

Matorrales y pastizales, con base en los datos de incrementos reportados para los estados del norte de la república

Manglar, proviene de D PICC 1996R

Información Nacional sobre Perfiles de Suelo Versión 1.2 (INEGI, 2004). Esta información fue sobrepuesto sobre el mapa Información Geográfica Edafología Serie I escala 1: 250,000 (INEGI, 2002) lo que permitió asignarle a cada sitio su correspondiente unidad de suelo.

Posteriormente, se realizó un control de calidad de la base de datos consistente en un análisis de discriminación y congruencia entre los valores reportados por los levantamientos de campo y criterios edafológicos, climáticos y de vegetación. En la Figura 7.5 se muestra los insumos utilizados para este análisis. En esta etapa los valores que no correspondieron al rango definido para su grupo dentro de cada agrupación, no fueron considerados al momento de calcular el promedio general de carbono de la unidad de suelo. Para este análisis se consideró la opinión y la experiencia de los levantadores directos de la información en campo de INEGI, ya que en ciertas ocasiones la cartografía de

climas o vegetación pueden no coincidir con la realidad, debido a la generalización que se provoca al utilizar como escala de trabajo los vectores de los sistemas de información geográfica.

Una vez identificadas las unidades de suelo para cada sitio de acuerdo a la clasificación edafológica de INEGI, ésta fue homologada a la clasificación PICC de suelos indicada en las *Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry (GPG2003)* (IPCC, 2003). En el Tabla 7.5 se indican las homologaciones.

La asignación a los grupos de suelos del PICC estuvo basada en la taxonomía de los suelos del INEGI (FAO 68).

Una vez obtenida la reclasificación de los suelos dentro de las unidades propuestas por el PICC, los valores de COS ($Mg\ C\ ha^{-1}$) y las unidades de suelo PICC fueron sobrepuesto en un SIG sobre una base de datos de uso de suelo (INEGI, 2005) con

FIGURA 7.4 SITIOS DE MUESTREO DE CARBONO ORGÁNICO EN EL SUELO (ADAPTADO SEMARNAT-CP (2002) E INEGI).

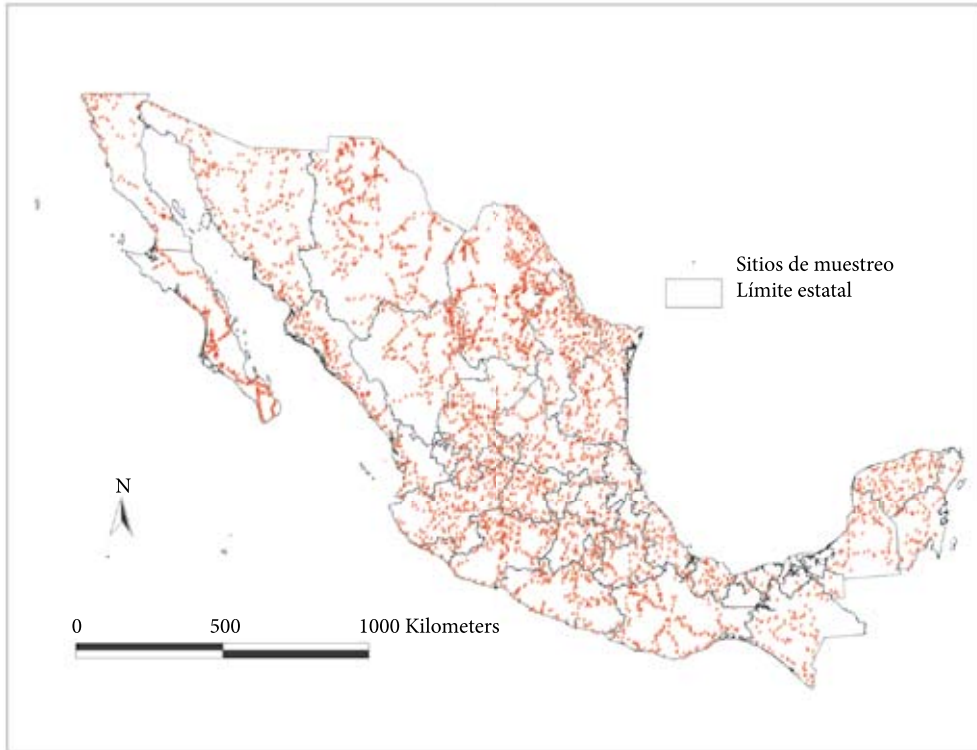
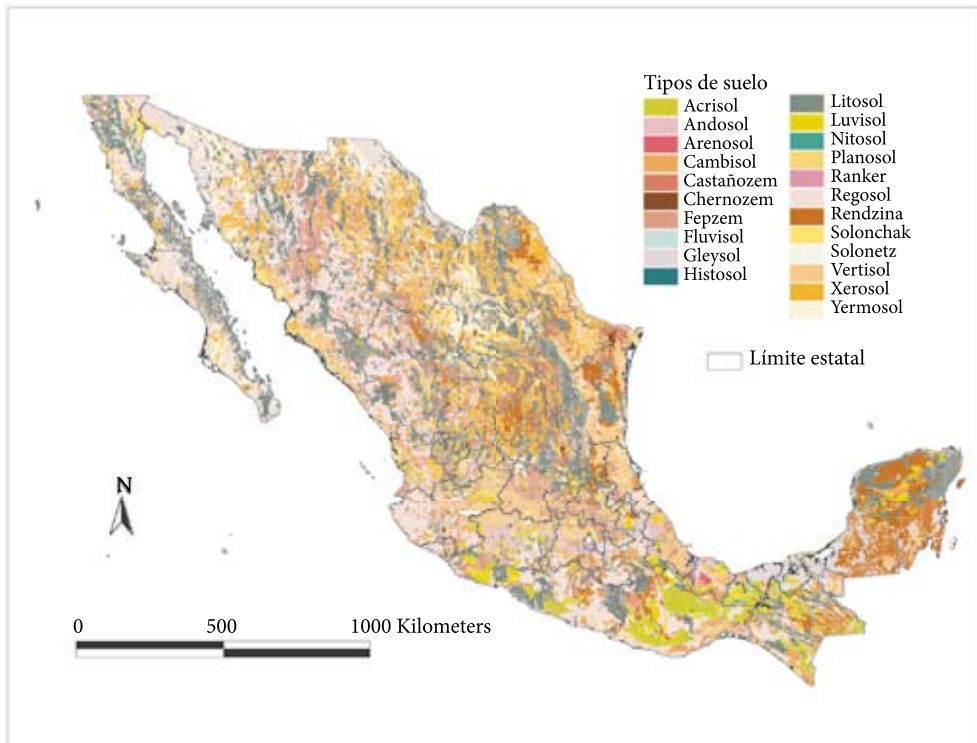
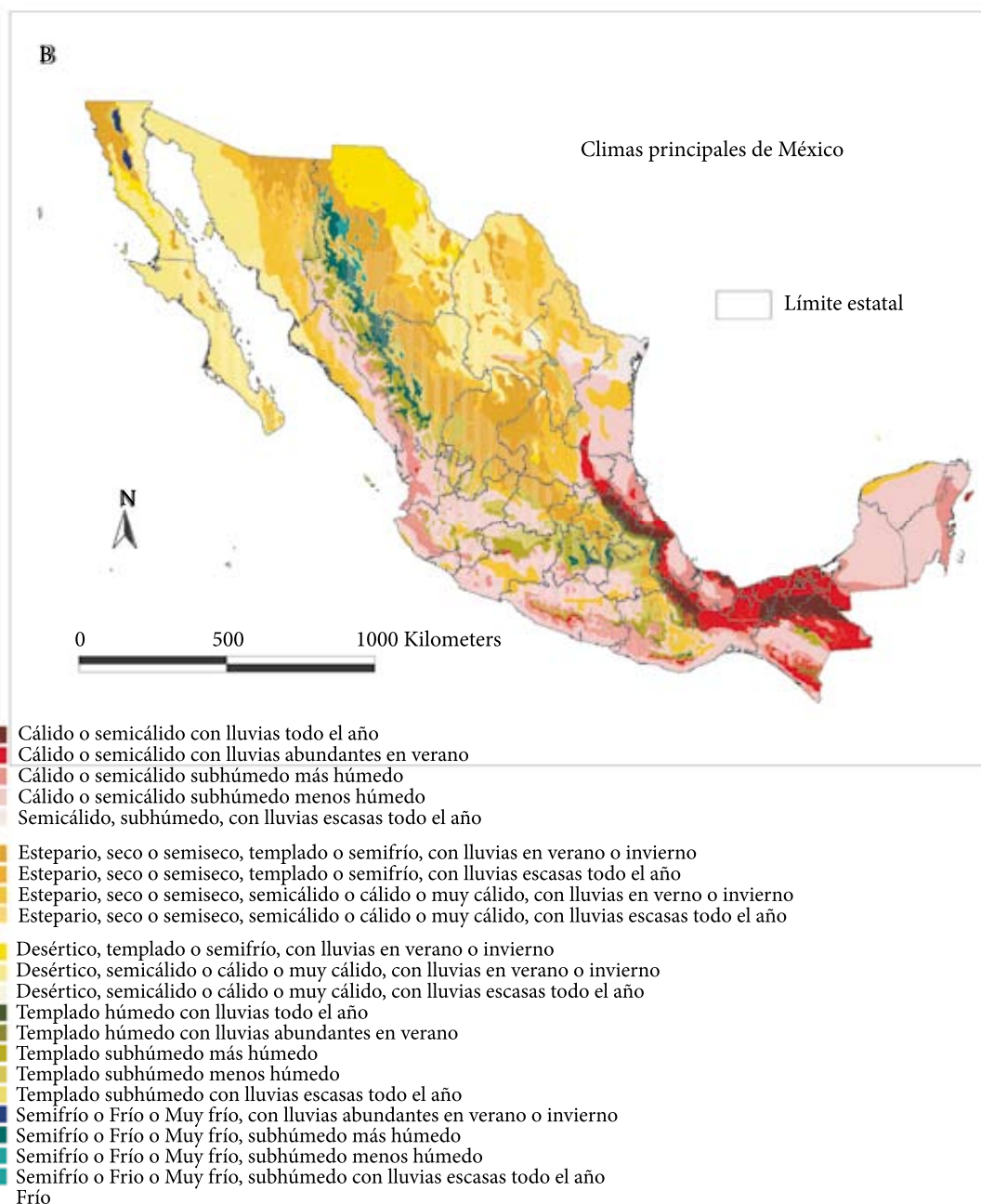


FIGURA 7.5 MAPAS DE EDAFOLOGÍA (A, INEGI, 2003) Y CLIMAS DE MÉXICO (B, GARCÍA, 1990).





el objetivo de ajustarse al formato de las planillas PICC. El producto de este ejercicio fue el contenido promedio de COS por unidad de suelo PICC y unidad de uso de suelo (vegetación). El producto de este último paso es una matriz del contenido de COS (Mg C ha⁻¹) por unidad de vegetación y tipo de suelo.

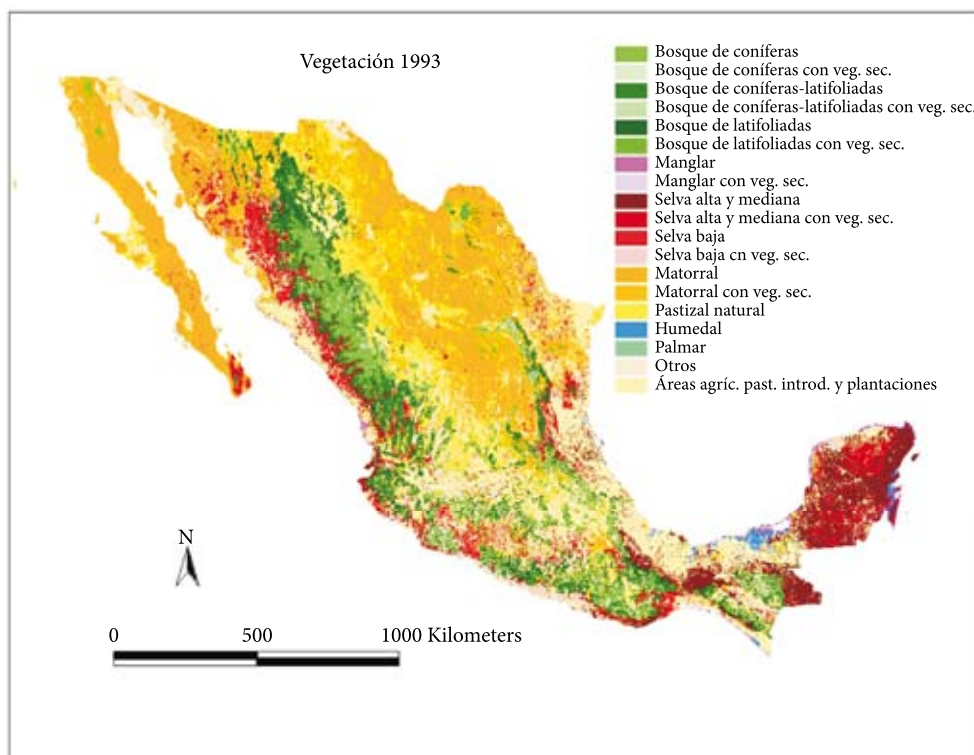
Finalmente, a partir de la matriz de cambio de uso de suelo y vegetación para los años base 1993 y 2002, se comparó la variación de las superficies cubiertas por cada uso de suelo y con base en los valores promedio de COS por unidad y uso de suelo se calculó el balance en toda la República Mexicana. En la Figura 7.6 se muestran los dos mapas de uso de suelo utilizados en esta etapa.

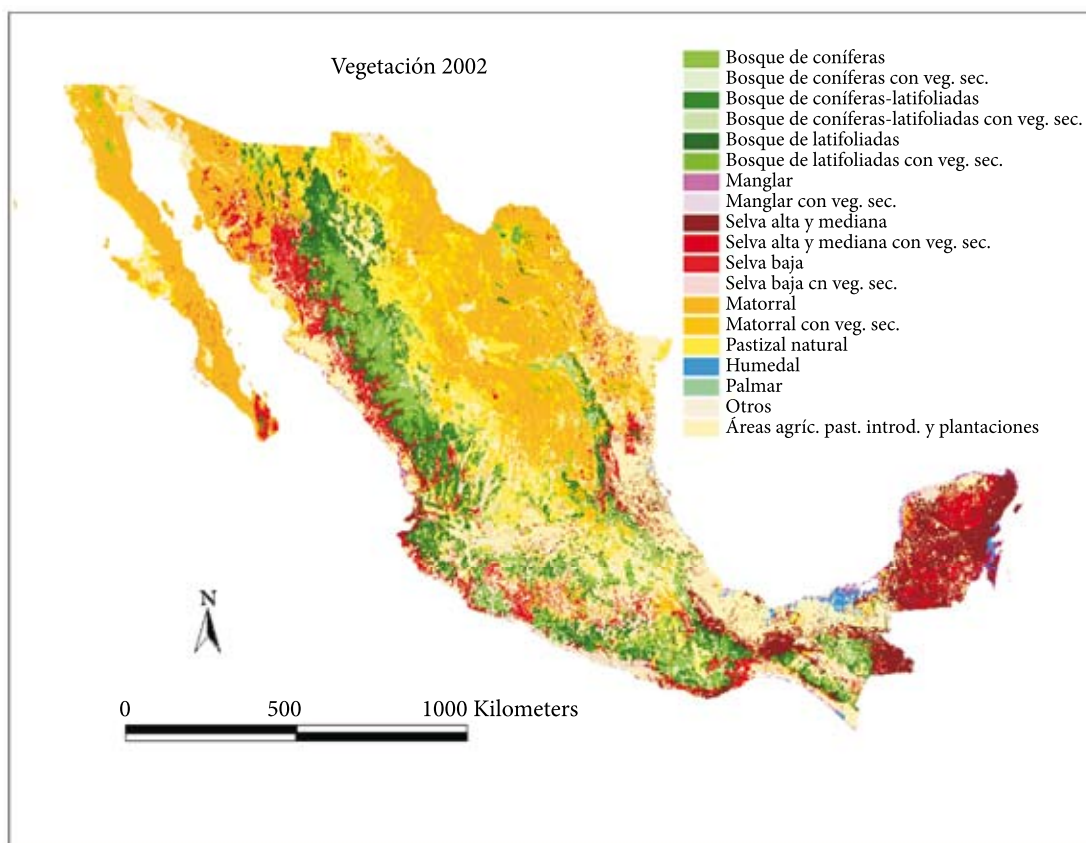
TABLA 7.5 CLASIFICACIÓN DE LOS TIPOS DE SUELOS SEGÚN WRB, USDA Y SU EQUIVALENTE PARA IPCC*.

CLASIFICACIÓN				
WRB	FAO	USDA	IPCC	
Albeluvisoles	Leptosoles	Leptosoles	Alfisoles básicos	Suelos con arcillas de alta actividad (HAC)
Alisoles	Luvisoles	Alisoles	Aridisoles	
Calcisoles	Phaeozemes	Kastanozem	Inceptisoles	
Cambisoles	Regosoles	Regosoles	Mollisoles	
Chernozem	Solonetz	Umbrisoles	Vertisoles	
Gypsisoles	Umbrisoles	Gypsisoles		
Kastanozem	Vertisoles	Kastanozem, Vertisoles		
	Acrisoles	Acrisoles	Alfisoles ácidos	Suelos con arcillas de baja actividad (LAC)
	Durisoles	Greyzemes	Oxisoles	
	Ferralsoles	Ferralsoles	Ultisoles	
	Lixisoles	Lixisoles		
	Nitisoles	Nitisoles		
	Arenosotes	Arenosotes	Psammentes	
	Podzoles	Podzoles	Spodosoles	
	Andosoles	Andosoles	Andisoles	
	Gleysoles	Gleysoles	Aquic	

*Adaptado de las Directrices del PICC (PICC, 2003). WRB = World Resource Bureau; FAO = United Nations Food and Agricultural Organization; USDA; = United States department of Agriculture.

FIGURA 7.6 MAPAS DE USO DE SUELO PARA LOS AÑOS 1993 (A) Y 2002 (B) UTILIZADOS EN EL CÁLCULO DE LA MATRIZ DE CAMBIO DE USO.





Procesamiento de la información para su homogeneización

La base de datos de SEMARNAT-CP (2001-2002) sólo cuenta con información del COS (materia orgánica, MO, en %) hasta la profundidad de 20 cm., por lo que fue necesario realizar un proceso de restitución de información a la profundidad de 30 cm. Para esto se utilizaron 4,248 perfiles de suelo de INEGI (2004) para definir relaciones entre ambas profundidades, usando los tipos/subtipos de suelos como criterio de homogeneidad del COS. La relación de restitución se indica en la Ecuación (10):

$$MO_{30cm} = a + bMO_{20cm} \quad (10)$$

Donde MO = Materia Orgánica, a y b son parámetros de la ecuación de regresión

En el caso de que algún tipo/subtipo de suelo no tuviera una relación, el procedimiento consistió en el uso de una relación general construida utilizando toda la base de datos.

Por otra parte, considerando que la base de datos del COS para los valores INEGI no cuenta con información de densidad aparente del suelo (DA) y que para la base de 2002 no se cuenta con esta información para todos los datos, se procedió a la estimación de la DA utilizando para esto los valores propuestos por Batjes (1997) y la información de DA de la base de 2002.

Se tomó como criterio de homogeneidad de la DA a los tipos/subtipos de suelos; se analizó los 1,820 datos con información de DA de la base de 2002 y se calcularon los promedios por cada clase definida. El criterio de asignación de la DA a un tipo/subtipo de suelo consistió en:

- 1 Si había tres o más datos en un tipo/subtipo de suelo se asignó el valor promedio como representativo de esta clase.
- 2 Si el número de datos era menor a tres, el valor propuesto por Batjes (1997) se utilizó como representativo del tipo/subtipo de suelo.

La Figura 7.7 muestra un gráfico de análisis de congruencia entre los valores propuesto por Batjes (1997) y los estimados. Los valores encontrados indican que el valor de Batjes está fuera del rango estimado con la base de 2002 (10 datos). En esta aproximación se decidió utilizar los valores estimados, aún cuando estuvieran alejados del valor definido por Batjes (1997).

Con los procesos discutidos se logró que las dos bases de datos contaran con la información requerida para la realización de inventarios de suelos para los años bases disponibles.

7.2.6. Carbono del suelo en áreas impactadas por la agricultura

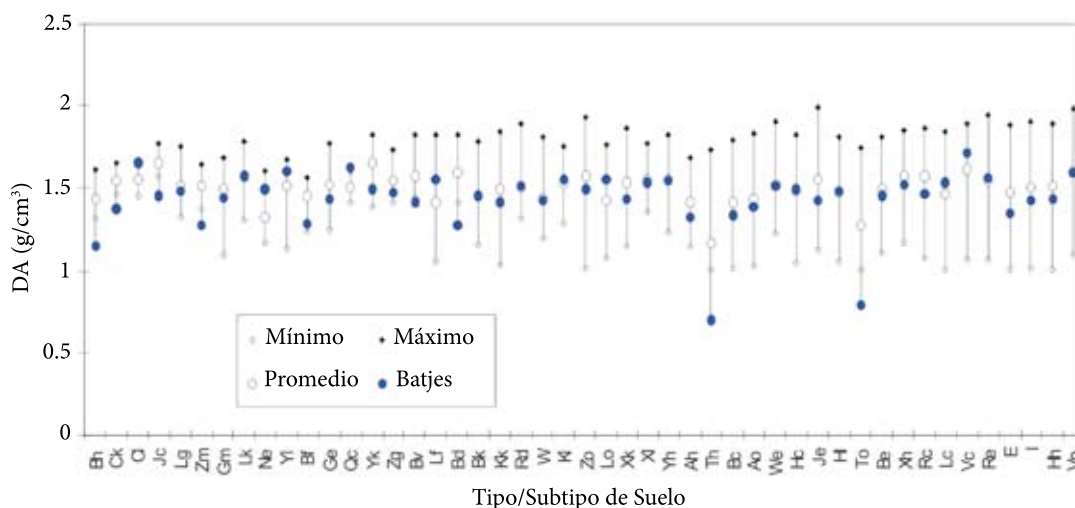
La estimación fue realizada a partir de las salidas del ejercicio realizado en el modulo 6.3.5. Cambio del contenido de carbono orgánico en los suelos minerales de la Republica Mexicana de este mismo documento. Al igual que en dicho módulo, los valores considerados

para la densidad COS fueron calculados a partir de la información edafológica publicada en el estudio SEMARNAT-CP (2002) e información proporcionada por los datos de últimas campañas de muestreo de INEGI (datos aún no publicados). Con esta información se diseño una base de base de datos con 4,422 valores de COS distribuidos de manera relativamente uniforme en la República Mexicana. Posteriormente y de acuerdo a la metodología para los inventarios de carbono en suelos, los sitios con valores de COS fueron clasificados en las unidades edafológicas propuestas por PICC en las GPG2003 (IPCC, 2003). La asignación a los grupos de suelos del PICC estuvo basada en la taxonomía de los suelos del INEGI (FAO 68). Su homologación se indica en el Tabla 7.5.

Los valores de COS (Mg C ha^{-1}) y las unidades de suelo PICC fueron sobrepuesto en un SIG sobre una base de datos de uso de suelo (INEGI, 2005) obteniendo así el contenido promedio de COS por unidad de suelo PICC y unidad de uso de suelo (vegetación).

Como se indicó en la sección 7.2.5 de este documento, los valores de COS fueron sometidos a un proceso de homogeneización de profundidades y asignación de densidad aparente en el caso que no existiera dicha información. En este proceso la base de datos de SEMARNAT-CP (2001-2002) que sólo contaba con información del COS hasta la profundidad de 20

FIGURA 7.7 MAPAS DE USO DE SUELO PARA LOS AÑOS 1993 (A) Y 2002 (B) UTILIZADOS EN EL CÁLCULO DE LA MATRIZ DE CAMBIO DE USO.



cm. fue restituida hasta una profundidad de 30 cm a partir de la información de los 4,248 perfiles de suelo de INEGI (2004) con los que se definieron relaciones entre las profundidades, usando los tipos/subtipos de suelos como criterio de homogeneidad del COS. La relación de restitución se indica en la ecuación (11):

$$MO_{30cm} = a + bMO_{20cm} \quad (11)$$

En el caso de que algún tipo/subtipo de suelo no tuviera una correspondencia, el procedimiento consistió en el uso de una relación general construida utilizando toda la base de datos.

Por otra parte, para los valores de COS de INEGI que no contaban con información de densidad aparente del suelo (DA), se procedió a la estimación de la DA utilizando para esto los valores propuestos por Batjes (1997) y la información de DA de la base de 2002. Como criterio de homogeneidad de la DA a los tipos/subtipos de suelos; se analizó los 1,820 datos con información de DA de la base de 2002 y se calcularon los promedios por cada clase definida. El criterio de asignación de la DA a un tipo/subtipo de suelo consistió en:

- Si había tres o más datos en un tipo/subtipo de suelo se asignó el valor promedio como representativo de esta clase.
- Si el número de datos era menor a tres, el valor propuesto por Batjes (1997) se utilizó como representativo del tipo/subtipo de suelo.

En esta aproximación se decidió utilizar los valores estimados, aún cuando estuvieran alejados del valor definido por Batjes (1997).

Con los procesos discutidos se logró que las dos bases de datos contaran con la información requerida para la realización de inventarios de suelos para los años bases disponibles.

Posteriormente y a partir de los valores muestreados de COS, se calcularon promedios de COS (Mg ha⁻¹) por clase de uso de suelo y unidad de suelo PICC. De acuerdo a lo establecido en las planillas del PICC para realizar inventarios, los valores de COS fueron

afectados por factores del manejo agronómico de dichos suelos. Cabe mencionar que dichos valores de manejo no se encuentran aún definidos en la República Mexicana por lo que se utilizaron los valores propuestos por PICC como valores por defecto. No se puede calcular las emisiones derivadas de esta actividad, ya que el software PICC versión 1.1 no tiene las ligas a las superficies.

7.2.7. Emisiones de carbono por encalado de suelos agrícolas

La estadística de uso de cal agrícola en los suelos de la República Mexicana no está debidamente documentada, por lo que la estimación de emisiones de carbono desde los suelos como consecuencia de su uso, presenta un alto grado de incertidumbre.

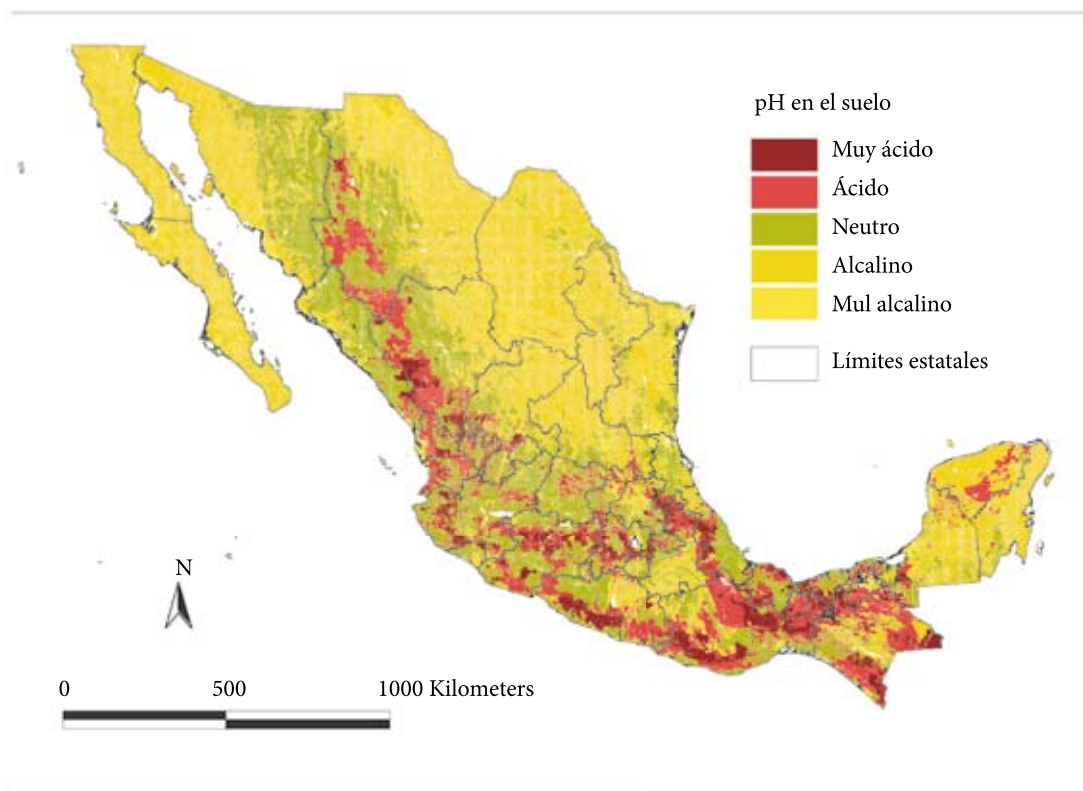
Con el propósito de establecer algunos antecedentes preliminares acerca de este tema se puede señalar que el uso de cal en México se concentra principalmente como neutralizador de suelos ácidos y muy secundariamente como desinfectante de suelo. Paralelamente se hicieron estimaciones de la producción de cal agrícola en el país.

Suelos ácidos. Los suelos ácidos en la República se distribuyen a lo largo de la Sierra Madre Occidental y en la parte sur del país donde las condiciones climáticas han inducido las disminuciones del pH. En las últimas estimaciones realizadas por el INEGI se estima que la cobertura de los suelos ácidos (pH menor a 6.5) alcanza en México a 18% de la superficie nacional, esto es, 35'856,800 ha.

En la Figura 7.8 se indican la distribución de los suelos ácidos, es decir suelos donde los valores de pH son inferiores a 6.5 (INEGI, 2002).

Con esta información más reciente se ha realizado una estimación independiente de la superficie de suelos ácidos con potencialidad agrícola de México. Para ello se compararon las unidades de suelos ácidos y el área agrícola, tanto de riego como temporal. Esta información permite estimar la superficie de suelos ácidos con potencial de encalado en la región sur del país, la cual podría alcanzar 5'002,586 ha (Tabla 7.6). Si se considera aplicaciones promedio de 1 tonelada

FIGURA 7.8 DISTRIBUCIÓN DEL pH EN LOS SUELOS.



de cal agrícola por hectárea en esa región, el consumo potencial de cal agrícola sería de aproximadamente 5'000,000 de toneladas.

No todos los suelos clasificados como ácidos son potencialmente de uso agrícola y por lo tanto tienen la probabilidad de ser encalados.

Se encuentra documentado que los suelos dedicados al cultivo de piña en esa zona, son sometidos periódicamente a encalado. Este cultivo se concentra, por razones climáticas, justamente en estos suelos ácidos. En el año agrícola 2004 alcanzó a 30,320 has (Sagarpa, 2006), concentrados principalmente en la zona sur del país en los estados de Chiapas, Veracruz, Tabasco y Oaxaca y en menor proporción, en Jalisco, Colima y Michoacán. El Tabla 7.7 indica la superficie cubierta por este cultivo.

Si se considera que estos suelos reciben aplicaciones en promedio de 3,000 kg ha⁻¹ cada 3 años se podría esperar una aplicación aproximada 30,000 toneladas de cal por año, solo en dicho cultivo.

Fabricación de cal agrícola. La Asociación Nacional de Fabricantes de Cal (ANFACAL, 2006. Comunicación institucional) indica que en la actualidad la producción y venta de cal alcanza cerca 3 millones de toneladas. De estas la asociación estima que 8-10 % correspondería a cal agrícola, por lo que se puede indicar que la producción y venta anual de cal es de aproximadamente 250,000 toneladas. Pero parte de este material se emplea en la fabricación de dietas balanceadas. De acuerdo al sistema de cuentas nacionales, México fabricaría aproximadamente 4'000,000 toneladas de alimentos balanceados para el sector pecuario, lo cuál se estima que demandaría aproximadamente 100,000 toneladas de cal por año. Esto significa que existe un remanente de cerca de 150,000 toneladas de cal por año que estarían destinadas al encalado de los suelos, de las cuales aproximadamente 30,000 se sabe que se destinan al cultivo de la piña.

Visto los volúmenes utilizados en la producción de piña, este valor puede ser considerado como el

TABLA 7.6 COBERTURA DE LAS ÁREAS AGRÍCOLAS POTENCIALES PARA ENCALADO.

UNIDAD	SUBUNIDAD	HA	UNIDAD	SUBUNIDAD	HA
Acrisol	órtico	318,914	Gleysol	Plíntico	12,170
Acrisol	húmico	388,829	Gleysol	Éútrico	74,569
Acrisol	plíntico	19,210	Gleysol	Vértico	5,866
Andosol	ócrico	346,335	Histosol	éútrico	336
Andosol	húmico	562,502	Litosol		172,093
Andosol	mólico	67,255	Luvisol	órtico	224,253
Andosol	vítrico	2,171	Luvisol	crómico	777,305
Arenosol	cámbico	89,015	Luvisol	férrico	154,424
Cambisol	crómico	216,607	Luvisol	gléyico	18,884
Cambisol	dístrico	84,801	Luvisol	plíntico	39,899
Cambisol	ferrálico	42,591	Luvisol	álbico	1,557
Cambisol	gléyico	1,543	Luvisol	vértico	61,815
Cambisol	húmico	64,653	Nitosol	dístrico	22,007
Cambisol	éútrico	384,352	Planosol	dístrico	7
Feozem	háplico	64,617	Planosol	húmico	4,815
Feozem	lúvico	395,336	Ranker		2,414
Fluvisol	calcárico	33	Regosol	calcárico	24,909
Fluvisol	dístrico	8,197	Regosol	dístrico	99,361
Fluvisol	gléyico	10,857	Regosol	éútrico	183,155
Fluvisol	éútrico	2,513	Rendzina		82,166
Gleysol	húmico	3,633	Vertisol	crómico	50,885
Gleysol	mólico	7,661	Vertisol	pélico	674
Total país					5,002,586

TABLA 7.7 SUPERFICIE CUBIERTA POR PIÑA DURANTE EL AÑO AGRÍCOLA 2004.

ESTADO	SUPERFICIE SEMBRADA (HA) (HA)
Chiapas	38
Guerrero	5
Jalisco	67
México	8
Nayarit	875
Oaxaca	2966
Quintana Roo	44
Tabasco	2150
Tamaulipas	16
Veracruz	24126
Yucatán	25
Total	30,320

que se utiliza anualmente en toda la región de suelos ácidos.

7.3. Resultados

7.3.1. Cambios de Biomasa en Bosques y otros tipos de vegetación leñosa

Superficies forestales con manejo

La superficie de bosques y selvas nativos con manejo se estimó en 6.2 millones de hectáreas, lo que representa el 9% de la superficie total que cubren dichos tipos de vegetación en el país. Esta estimación se encuentra dentro del ámbito de variación reportado por la FAO (2005), quien reporta un decremento de la superficie forestal bajo manejo de 8.6 millones a 6.1 millones

de hectáreas entre los años 2000 y 2004. Los bosques templados de coníferas y latifoliadas abarcan la mayor superficie con manejo (78%), seguidos de las selvas altas/medianas (12%) y selvas bajas (10%). La mayor parte de predios con manejo forestal se encuentran ubicados en las Sierras del país.

La superficie con plantaciones se estimó en 1.6 millones de ha, de las cuales el 2% corresponde a plantaciones comerciales que se establecieron durante el periodo 1997-2002, y el 98% a plantaciones de reforestación que se establecieron durante el periodo 1960-2002.

La superficie forestal accesible para aprovechamientos de leña se calculó en 35.9 millones de hectáreas, lo que representa el 32% de la superficie total que cubren los bosques templados, selvas, y matorrales del país. Dicha superficie se distribuyó de la siguiente manera: 40% bosques templados, 44% selvas y 16% matorrales. Los bosques con accesibilidad para extracción de leña mostraron una distribución espacial similar a la que tienen los bosques nativos con aprovechamientos de madera industrial. Sin embargo, a través de un análisis espacial se observó que las superficies de ambos tipos de manejo solo se superponen en un 8%, por lo que no se consideró necesario hacer algún ajuste para evitar doble conteo de superficies.

Incrementos de biomasa

Los incrementos volumétricos de madera de bosques templados tuvieron un ámbito de variación alto entre Estados. En bosques de coníferas variaron de 0.6 a 5.5 m³ ha⁻¹ año⁻¹, y en bosques mixtos variaron de 0.6 a 3.4 m³ ha⁻¹ año⁻¹. Los bosques con mayores incrementos se encuentran en los estados de Michoacán, Distrito Federal y Jalisco. Para calcular un incremento promedio por tipo de vegetación, los datos de incremento de cada tipo de vegetación y Estado se ponderaron por su correspondiente superficie con manejo. Los valores obtenidos fueron 2.5, 1.7 y 1.7 m³ ha⁻¹ año⁻¹ para los bosques de coníferas, bosques de latifoliadas y bosques mixtos, respectivamente. Estos valores son ligeramente mayores al promedio nacional estimado para bosques templados, el cual asciende a 1.35 m³ ha⁻¹

año⁻¹ (Merino 1999, FAO 2005). Los valores de incremento volumétrico corresponden a incrementos de biomasa de 1.3, 1.3 y 1.1 t ha⁻¹ año⁻¹, respectivamente. Estos incrementos de biomasa están dentro del ámbito de variación que reporta el PICC (2003) para bosques de coníferas (0.5-6.0 t ha⁻¹ año⁻¹) y bosques de latifoliadas (0.5-7.5 t ha⁻¹ año⁻¹) de América. Se conoce que los bosques templados de México son 3.5 veces menos productivos que los de Estados Unidos y 2.3 veces menos que los de Canadá (Banco Mundial-Gobierno de México (1993), presuntamente debido un deficiente manejo forestal de los bosques de México, por lo que no es sorprendente que los incrementos de biomasa estén dentro de la parte baja del ámbito de variación reportado para América.

Los valores de incremento de biomasa usados para selvas bajas y selvas altas/medianas fueron 1.0 y 2.0 t ha⁻¹ año⁻¹, respectivamente. Estos valores son menores a los reportados para una selva baja sin perturbar en Jalisco (2.3 t ha⁻¹ año⁻¹, Maass et al., 2004) y para fragmentos de selvas medianas en regeneración de Yucatán (3-4 t ha⁻¹ año⁻¹, Lawrence y Foster, 2002), lo que puede sugerir que los datos usados son conservadores. Sin embargo, para llegar a una mejor estimación es necesaria recopilar y generar más información sobre la acumulación de biomasa en selvas que sea específica para bosques con manejo y que abarque más regiones geográficas del País.

El ámbito de variación de los incrementos de plantaciones forestales comerciales fue de 1.8 m³ ha⁻¹ año⁻¹ en plantaciones de *Prosopis* sp. de regiones semiáridas a 25.4 m³ ha⁻¹ año⁻¹ en plantaciones de árboles tropicales de rápido crecimiento. Para obtener un valor promedio, los valores de incremento por grupo de especie fueron ponderados por su correspondiente superficie plantada. El incremento calculado fue de 16 m³ ha⁻¹ año⁻¹, lo que equivale a un incremento de biomasa aérea de 11 t ha⁻¹ año⁻¹. Este valor está dentro de la parte media del ámbito de variación reportado por el PICC (2003) para plantaciones de América, el cual va de 2.2 – 18 t ha⁻¹ año⁻¹.

El incremento de madera para plantaciones de reforestación fue de 2.4 m³ ha⁻¹ año⁻¹. Este incremento es mucho menor al estimado para plantaciones fo-

restales comerciales, como puede ser esperado dado que las plantaciones de reforestación tienen menores densidades de plantado por la alta mortalidad que sufren las plántulas, y por que la calidad de los sitios donde se hace la reforestación y plántulas es, en general, mala.

El incremento de biomasa estimado para superficies de bosque accesibles para uso de leña fue de $0.5 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$. Como se mencionó, este incremento se calculó partiendo del supuesto que la colecta de leña para uso residencial se lleva a cabo de manera renovable, por lo que es de esperarse que tenga un valor por debajo del estimado para bosques nativos con aprovechamientos de madera industrial, como fue observado.

Captura de carbono

La captura total de carbono se calculó como el producto de las superficies con manejo por los incrementos de biomasa correspondientes a cada superficie. De acuerdo con ello, se estima que los bosques con manejo forestal producen anualmente una biomasa aproximada de 27.7 millones de toneladas (Tabla 7.8), lo que equivale a una captura anual de 13.8 millones de toneladas de carbono.

Incertidumbre asociada a los cálculos de captura de carbono

La Tabla 7.9 la incertidumbre asociada a la captura de carbono (ver sección 7.2.1 para la estimación de las incertidumbres y fórmulas 8 y 9 para el cálculo). Asimismo, se muestran las estimaciones de incertidumbre de los datos de actividad y de los factores de emisión usados. Se observa que los incrementos volumétricos generaron la mayor incertidumbre entre los factores de emisión. Ello se debió, en parte, a la gran heterogeneidad de condiciones en las que crecen los bosques del país en lo referente a las calidades de sitio y climas, así como a su composición florística. La alta incertidumbre asociada a la reforestación no sólo se debe al cálculo de producción de biomasa de los predios reforestados, sino también al cálculo de la superficie reforestada. Las evaluaciones periódicas que actualmente se hacen a los proyectos de reforestación (p. ej. UACH 2004) van a permitir mejorar las estimaciones de superficies reforestadas, pero no las de producción de biomasa, al menos con el formato con el que actualmente se hacen.

La incertidumbre absoluta asociada al cálculo de captura de carbono fue del 11%, lo que indica que la captura anual de carbono en bosques con manejo puede estar en el ámbito de 12.5 y 15.3 millones de toneladas.

TABLA 7.8 ESTIMACIÓN DEL INCREMENTO TOTAL DE BIOMASA EN BOSQUES CON MANEJO FORESTAL.

	SUPERFICIE (1000 HA)	INCREMENTO DE BIOMASA (MG HA⁻¹ AÑO⁻¹)	INCREMENTO TOTAL DE BIOMASA (GG AÑO⁻¹)
Manejo en Bosques nativos			
Bosque coníferas	654	1.3	826
Bosque de latifoliadas	167	1.3	215
Bosque de coníferas-latifoliadas	4,033	1.1	4,493
Selvas bajas	644	1	644
Selvas altas	741	2	1,481
Subtotal	6,239		7,660
Plantaciones comerciales	29	11.1	324
Reforestación	1,564	1.4	2,144
Manejo tradicional de leña	35,894	0.5	17,611
Total	43,726		27,739

TABLA 7.9 ESTIMACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE ASOCIADA AL CÁLCULO DE LA CAPTURA DE CARBONO EN BOSQUES CON MANEJO FORESTAL.
SE PRESENTAN LOS PORCENTAJES DE INCERTIDUMBRE PARA CADA DATO DE ACTIVIDAD Y FACTOR DE EMISIÓN.

	1	2	3	4	5	6	7
MANEJO EN BOSQUES NATIVOS	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(Gg C AÑO ⁻¹)
Bosque coníferas	30	10	20	2	10	39	413
Bosque de latifoliadas	40	10	20	2	10	47	107
Bosque de coníferas-latifoliadas	35	10	20	2	10	43	2,347
Selvas bajas	50			2	10	51	741
Selvas altas	50			2	10	51	322
Plantaciones comerciales	30	20	20	2	20	46	162
Reforestación	50	20	20	2	30	65	1,072
Manejo tradicional de leña						10	8,806
Total							13,870
Valor absoluto de Incertidumbre						11	

1 = Incremento de volumen, 2 = Densidad de madera, 3 = Factor de expansión,
4 = Fracción de carbono, 5 = Superficie, 6 = Incertidumbre acumulada, 7 = Captura de C

Emisión de carbono derivada de los aprovechamientos forestales

El promedio anual de los aprovechamientos autorizados de madera industrial durante el periodo 1993-2002 fue de 7 millones de m³ año⁻¹. El 90% de estos aprovechamientos corresponde a madera de pino, lo que es congruente con el hecho de que la mayor superficie forestal con manejo la presentan los bosques templados. Los aprovechamientos no autorizados de madera se estiman en 13 millones de m³ año⁻¹ (SEMARNAT 2001). Así, se calcula que la tala total de madera industrial está en el orden de 20 millones de m³ año⁻¹, lo que equivale a 13.5 millones de toneladas (Tabla 7.10).

El consumo total de leña en el sector residencial se estimó en 19.2 millones de toneladas por año, del cual se calcula que el 91% (17.6 millones) se cosecha de manera renovable y sólo el 9% (1.6 millones) se cosecha de manera no renovable. El consumo total cae dentro del ámbito de variación reportado en otros estudios. Por ejemplo, la SENER (2006) estima que durante el periodo 1993-2002, el sector residencial consumió un promedio anual de 15 millones de toneladas de leña (250 ±

2% PJ; 10 PJ ? 1 millón de m³ de madera; densidad de la madera = 0.6 Mg ms m⁻³). Sin embargo, esta evaluación no considera a los usuarios mixtos (usuarios de leña y gas). Tomando en consideración a dichos usuarios, Díaz (2000) estima un consumo anual de leña de 20.3 millones de toneladas. Los Estados con mayor consumo de leña fueron Veracruz, Chiapas, Oaxaca, Puebla y Guerrero, y los Estados que destacan por su uso no sostenible de leña son: Estado de México, Veracruz, Puebla e Hidalgo. Los grupos de especies más frecuentemente usadas como leña son los encinos y las especies tropicales no catalogadas como preciosas.

La biomasa talada en los aprovechamientos de madera industrial más el consumo de leña suman un total de 30.4 toneladas de materia seca consumida por año, lo que corresponde a una emisión de carbono a la atmósfera de 15.2 millones de toneladas (Tabla 7.10). Esta emisión de carbono es mayor a la reportada el Inventario Nacional de GEI 1996 (11.498 Mg C año⁻¹; INE 2001), debido principalmente a que en dicho inventario no se consideraron las emisiones de carbono generadas por la tala ilegal de madera industrial que representan el 26% del total de las emisiones de carbono en el presente trabajo.

TABLA 7.10 ESTIMACIÓN DE BIOMASA VEGETAL TALADA EN LOS APROVECHAMIENTOS DE MADERA.

TIPO DE APROVECHAMIENTO	VOLUMEN (1000 M ³ AÑO ⁻¹)	DENSIDAD ¹ (DM.M ⁻³)	FACTOR DE EXPANSIÓN DE BIOMASA ²	BIOMASA TOTAL (GG AÑO ⁻¹)
Aprov. Autorizados				
Pino	6,022	0.5	1.30	3,673
Oyamel	240	0.4	1.30	115
Otras coníferas	38	0.5	1.30	23
Encino	471	0.7	1.40	445
Otras latifoliadas	55	0.6	1.40	48
Preciosas	38	0.6	3.40	72
Comunes tropicales	158	0.6	3.40	330
Subtotal	7,023			4,706
Aprov. No autorizados ³	13,300	0.5	1.30	8,112
Aprov. de leña				17,611
Total				30,429

¹ Valores calculados a partir de una revisión de la literatura especializada en México

² IPCC (2003)

³ SEMARNAT (2001)

Incertidumbre asociada a los cálculos de emisión de carbono

La principal fuente de incertidumbre en los cálculos de emisión de carbono es el uso de factores de expansión de biomasa “por defecto” (Tabla 7.11). Las relaciones alométricas entre los módulos de los árboles varían ampliamente entre especies y dentro de las especies. En este último caso, la variación puede acontecer por cuestiones ambientales y genéticas. Por ello, para mejorar las estimaciones de biomasa talada es necesario generar factores de expansión de biomasa que incluyan dichas fuentes de variación. Otra importante fuente de incertidumbre es la tala no autorizada de madera, sobre la cual se conoce poco dada su naturaleza ilegal. La tala ilegal se lleva a cabo en bosques sin autorización para aprovechamientos de madera, pero también se lleva a cabo en bosques con autorización, en este caso ocurre cuando se tala más de lo permitido en el plan de manejo. No se conoce con certeza la importancia relativa de estos tipos de aprovechamientos ilegales, pero se presume que la tala ilegal en predios autorizados es menor debido a que periódicamente la PROFEPA les hace auditorías técnicas (PROFEPA 2003).

Aplicando la fórmula 6 (sección 7.2.1) la incertidumbre total fue estimado en 21% (Tabla 7.11), lo que indica que las emisiones anuales de carbono pueden estar dentro del intervalo de 11.4 y 19 millones de toneladas de carbono.

Balance de los flujos de carbono en bosques con manejo

El balance de los flujos de carbono indica que durante el periodo de estudio hubo una menor captura que emisión de CO₂, lo que tuvo como consecuencia la emisión neta de aproximadamente 4.9 millones de toneladas de CO₂ al año (Figura 7.9). Esta estimación difiere mucho del cálculo realizado en el Inventario Nacional de GEI 1996 (INE 2001), en el cuál se estimó una captura neta de carbono de 30.7 millones de toneladas de CO₂ al año. Esto se debe, como ya se mencionó, a que en el presente inventario se usaron incrementos de biomasa más pequeños, y a que se cuantificaron las emisiones de carbono generadas por la tala ilegal de madera.

A partir de la combinación de las incertidumbres asociadas a la captura y la emisión de carbono y apli-

TABLA 7.11 ESTIMACIÓN PRELIMINAR DE LA INCERTIDUMBRE ASOCIADA AL CÁLCULO DE LA EMISIÓN DE CARBONO EN BOSQUES CON MANEJO FORESTAL.
SE PRESENTAN LOS PORCENTAJES DE INCERTIDUMBRE POR DATO DE ACTIVIDAD Y FACTOR DE EMISIÓN.

	1	2	3	4	5	6
TIPO DE APROVECHAMIENTO	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	GG C AÑO ⁻¹
Pino	30	10	2	10	33	1,836
Oyamel	30	10	2	10	33	58
Otras coníferas	30	10	2	10	33	12
Encino	30	10	2	10	33	222
Otras latifoliadas	30	15	2	10	33	24
Preciosas	30	10	2	10	33	36
Comunes tropicales	30	20	2	10	33	165
Aprov. No autorizados ³	30	20	2	50	62	4,056
Aprov. de leña					20	8,806
Total						15,215
Valor absoluto de la incertidumbre					21	

1 = Factor de expansión, 2= Densidad de madera, 3= Fracción de carbono, 4 = Cosecha
5= Incertidumbre acumulada, 6 = Emisión de C

cando la fórmula 9 (sección 7.2.1) se estima que el cálculo de emisión neta de CO₂ tiene una incertidumbre absoluta de 259% (Tabla 7.12). Este valor indica que la emisión neta de carbono puede variar entre -7.8 y 17.7 millones de toneladas de CO₂ al año.

7.3.2. Bióxido de carbono proveniente de la conversión de Bosques y Pastizales

Matriz de cambio de uso de suelo

Los flujos de carbono registrados en el sector forestal entre 1993 y el 2002 (consecuencia de la pérdida o regeneración de la biomasa arbórea), fueron calculados a partir de cambios en la superficie de las principales clases de cobertura vegetal del país. Como se menciona en la sección del método de este informe, los análisis de cambio de uso de suelo y dinámica de carbono en biomasa se realizaron considerando la clasificación del mapa de ecoregiones de Norteamérica (CEC 1997) y los mapas de INEGI sobre cobertura vegetal 1993 y 2002.

Del mapa de ecoregiones de Norteamérica (CEC 1997), se utilizó la clasificación con mayor agrega-

ción de las clases. De los mapas de cobertura vegetal de INEGI se generaron 18 clases, conformadas en vegetación en fase primaria y secundaria arbórea, y vegetación en fase secundaria arbustiva y herbácea. También, se incluyó una clase de uso la cual concentra información de las zonas agrícolas, pecuarias y plantaciones (IAPF).

De acuerdo a la estimación de la superficie por clase de vegetación en 1993, cerca de 27 Mha (13.9%) del país correspondió a bosques, 25 Mha (12.8%) a selvas, y 48.5 Mha (25%) a matorrales y el 40.5 Mha (20.8%) correspondió a las actividades de uso IAPF. En total aproximadamente 2 Mha cambian en el uso cada año, aunque los cambios van en todas las direcciones. Por ejemplo, aunque la superficie total correspondiente a las selvas altas y medianas en fase primaria y secundaria arbórea casi no varía en los 9 años (*ca.* 11Mha), alrededor de 1.2 Mha (11%) y 0.8 Mha (7%) de esta clase se convirtieron a vegetación secundaria y a IAPF, respectivamente. Empero, durante este periodo, una superficie de 1.2 Mha de selvas altas y medianas en fase secundaria y 0.3 Mha de cobertura IAPF se regeneraron a selvas medianas y altas en fase primaria.

FIGURA 7.9 BALANCE DE LOS FLUJOS DE CO₂ DERIVADOS DEL MANEJO DE LOS BOSQUES. LA CAPTURA DE CO₂ SE EXPRESA CON SIGNO NEGATIVO (-) Y LA EMISIÓN CON SIGNO POSITIVO (+). LAS BARRAS REPRESENTAN EL PORCENTAJE DE INCERTIDUMBRE ASOCIADA A LOS CÁLCULOS.

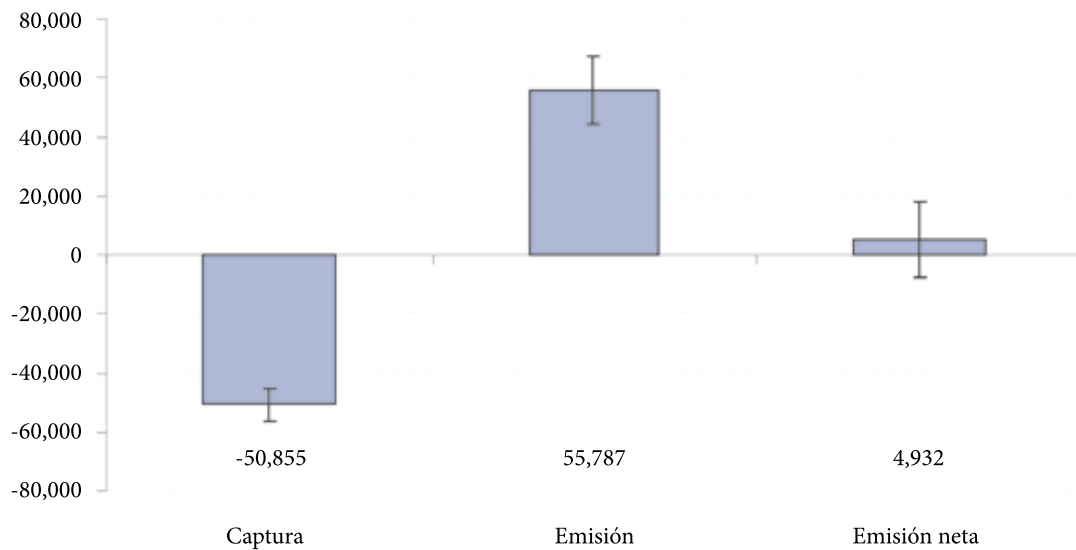


TABLA 7.12 ESTIMACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE ASOCIADA AL CÁLCULO DE LA EMISIÓN NETA DE CARBONO EN BOSQUES CON MANEJO.

	INCERTIDUMBRE	
	1000 GG C	(%)
Captura de carbono	13,870	11
Emisión de carbono	-15,215	21
Total		-1,345
Valor absoluta de la incertidumbre		259

Esto implica que la clase selva primaria y secundaria arbórea tiende a ser dominado por vegetación secundaria arbórea a costa de la selva primaria, si tomamos en cuenta el tiempo que se requiere para que la vegetación secundaria se convierta a selva primaria.

Incertidumbre asociada a la superficie de las clases de vegetación

Para el análisis de cambio de uso de suelo se usaron los mapas proporcionados por INEGI, serie 2 (s2-1993) y serie 3 (s3-2002). Sin embargo, en un estudio

separado se compararon los mapas de 2000 (t3-2000), producidos por el Instituto de Geografía (UNAM) e Instituto Nacional de Ecología con la Serie 3 de INEGI. Resulta que existe grandes extensiones con discrepancias importantes entre el mapa t3-2000 y s3-2002, que tiene grandes repercusiones sobre las estimaciones de emisiones. Aproximadamente 26.7% del país tiene diferencias a tres niveles:

1. diferencias en términos de fases sucesionales (p.ej. en un mapa se clasifica un rodal como bosque secundario con vegetación herbácea o arbustiva, en el otro mapa como bosque secundario con vegetación primaria o secundaria arbórea).
2. diferencias en términos de tipo de bosque (p.ej: mapa 1: bosque de pino versus mapa 2 bosque de pino-encino)
3. diferencias en clases de vegetación (p.ej: mapa 1: selva versus mapa 2: bosque o matorral)

Cabe señalar que estas diferencias pueden tener consecuencias en las estimaciones de emisiones. Tomando como ejemplo las diferencias observadas en la clasificación de t3-2000, existe un total de 4'610,000 ha de bosque de encino (latifoliadas) con vegetación

secundaria arbustiva o herbácea, del cual 42% fue clasificado como bosque de encino primaria o con vegetación secundaria arbórea en s3-2002 (Jong, B.H.J. y M. Motolinía 2005).

Como se puede observar en la Tabla 7.14, esto implica una diferencia en densidad de biomasa por ha de $61.6 - 25.5 = 36.1$ Mg C. Multiplicado por el área total de diferencia ($4'610,000 * 42\%$) y el factor de conversión de C a CO_2 (44/12), esta diferencia en clasificación resultaría en una emisión adicional de aproximadamente 128,144 de Gg CO_2 , si tomamos como base el mapa t3-2000. Sólo esta diferencia representa $> 20\%$ de emisiones estimadas por deforestación para este período. Esta incertidumbre en los mapas actualmente está incorporada en el cálculo de incertidumbre asociado a los datos de los mapas.

Flujos de CO_2 a la atmósfera por conversión de bosques, selvas, y matorrales

En el Tabla 7.13 se muestra que cerca de 8,851 kha de bosques, selvas, y matorrales cambiaron al final del periodo analizado (983 kha por año); es decir, en 4.6% de la superficie total del país.

A partir de la información presente en el Tabla 7.13, se calcula que aproximadamente el 54% de la pérdida de biomasa provinieron por cambios en las selvas primarias altas, medianas y bajas, un 38% de pérdidas por cambios en los bosques maduros de coníferas, latifoliadas y coníferas-latifoliadas y un 7% por pérdida de cobertura de matorrales.

Las emisiones totales por la conversión son de 8,330.44 Gg C por las quemadas y 9,256.06 por los procesos de descomposición, dando un total de 17,586.49 Gg C o 64,483.80 Gg CO_2 .

Incertidumbre asociada a las estimaciones de los flujos de CO_2 por cambio en biomasa

En el presente capítulo sobre emisiones de CO_2 por cambios en la cobertura vegetal, las incertidumbres más evidentes se asociaron a:

- *cálculo de la densidad de biomasa antes y después de la conversión.* La densidad promedio derivada

del análisis estadístico de los sitios del INF94, fue empleada tanto para el cálculo del contenido de biomasa presente al principio como al final del periodo de nueve años. Aplicando las fórmulas 8 y 9 (sección 7.2.1) y usando el intervalo de confianza (Tabla 7.3) como base, la incertidumbre de la densidad de biomasa antes y después de la conversión varían entre 6 y 24%, para las coberturas en las cuales se hizo el cálculo de biomasa y 50% (valor por defecto de IPCC) en los casos que se usó los datos de biomasa por defecto.

- *Incertidumbre en las superficies.* Para el cálculo de incertidumbre en las superficies se tomó en cuenta posibles errores en la clasificación (estimado a partir de la comparación de los mapas t3-2000 y s3-2002), errores en la delimitación de los polígonos (partiendo de un error fijo de 0.5 pixel y distribución de tamaños de polígonos), y errores en los polígonos por la escala de trabajo. Aplicando las fórmulas 8 y 9 (sección 7.2.1) se estima que la incertidumbre en las superficies varía entre 17% y 24%.
- *Incertidumbre relativa al cambio del almacén de carbono durante la conversión de la superficie.* La incertidumbre total en la estimación de emisiones varía entre 19 y 67% para las coberturas vegetales, y aplicando la fórmula 9 (sección 7.2.1) da una incertidumbre total absoluta de 12% (Tabla 7.14)

7.3.3. Emisiones de gases traza distintos al CO_2 derivados de la combustión in situ de la biomasa forestal

El total de las emisiones de gases distintos al CO_2 , producto de la conversión de bosques y pastizales para el presente estudio se estimó en 127 Gg CH_4 , 1,113 Gg CO, 1 Gg N_2O y 32 Gg NO_x (Tabla 7.15).

De acuerdo a OBP 2005 la estimación de incertidumbre de las emisiones de gases distintos al CO_2 procedentes de la combustión de la biomasa en el Nivel 1 de gradación pueden ser muy inciertas a causa de: a) la variabilidad espacial y temporal de las emisiones, b) falta de monitoreo y número de estudios en campo y c) la incertidumbre inherente a los factores de emisión y a los datos de actividad.

TABLA 7.13 PÉRDIDA DE BIOMASA A PARTIR DE CAMBIOS EN LAS COBERTURAS VEGETALES PRESENTES EN 1993 Y EN EL 2002 (A)
Y TOTAL DE EMISIONES RELACIONADAS A ESTOS CAMBIOS (B).

(A)

	A* (1000 HA)	B MG DM/HA	C MG DM/HA	D MG DM/HA	E (GG DM)
Bosques y selvas primarios y secundarios arbóreos					
Coníferas	61.7	93.0	28.2	64.85	4,001
Coníferas-latifoliadas	114.9	81.2	33.6	47.61	5,470
Latifoliadas	116.2	61.6	28.0	33.57	3,901
Manglar	6.9	SD	13.2	0	0
Selva alta y mediana	231.1	104.1	32.4	71.61	16,549
Selva baja	145.5	37.31	23.3	14.06	2,046
Bosques y selvas secundarios arbustivos y herbáceas					
Coníferas veg.sec.	8.4	30.2	19	11.2	94
Coníferas-latifoliadas veg.sec.	16.2	35.2	19	16.2	262
Latifoliadas veg.sec.	33.1	25.5	19	6.5	215
Manglar veg.sec.	0.1	SD	19	0	0
Selva alta y mediana veg.sec.	81.4	38.6	19	19.6	1,595
Selva baja veg.sec.	90.8	29.5	19	10.5	953
Matorral	97.7	37	17.2	19.82	1,936
Pastizal natural	0	0	0	0	0
Humedal	7.8	SD	SD	SD	S.D.
Palmar	0.6	SD	SD	SD	S.D.
Otros	24.2	SD	SD	SD	S.D.
IAPF	SD	SD	SD	SD	S.D.
Total 1036.6			315.5	37,024	

* A = Área (en 1000 ha); B = Densidad de biomasa antes de la conversión; C = Densidad de biomasa después de la conversión; D = Cambio neto en densidad de biomasa; E = Pérdida anual de biomasa.. SD = Sin dato

(B)

EMISIONES INMEDIATAS POR QUEMA GG C	EMISIONES DIFERIDAS POR DESCOMPOSICIÓN GG C	EMISIONES TOTALES ANUALES GG C	EMISIONES EN CO ₂ GG CO ₂
8,330.44	9,256.05	17,586.49	64,483.80

TABLA 7.14 INCERTIDUMBRE RELACIONADA AL CÁLCULO DE EMISIONES POR LA CONVERSIÓN DE BOSQUES, SELVAS Y MATORRALES

	1 (%)	2 (%)	3 (MG C HA ⁻¹)	4 (MG C HA ⁻¹)	5 (%)	6 (%)	7 (%)	8 Gg C
Vegetación primaria								
Coníferas	11	18.5	92.6	27.6	9	17	19	1,901
Coníferas-Latifoliadas	6	14	81	34	6	20	21	2,598
Latifoliadas	10	15	62	28	8	24	26	1,853
Selva alta y mediana	7	17	104	32	7	23	24	7,861
Selva baja	5	17	37	23	7	24	25	972
Matorral	50	24	37	17.2	35	14	38	920
Vegetación secundaria								
Coníferas	11	19	30.2	19	9	64	65	45
Coníferas-Latifoliadas	6	14	35.2	19	6	56	56	125
Latifoliadas	10	15	25.5	19	8	67	67	102
Selva alta y mediana	7	17	38.6	19	7	55	55	758
Selva baja	5	17	29.5	19	7	64	64	453
Total								17,586
				Valor absoluto de Incertidumbre			12	

1 = Incertidumbre del almacén de carbono antes de la conversión; 2 = Incertidumbre del almacén de carbono después de la conversión; 3 = Almacén de carbono antes de la conversión; 4 = almacén de carbono después de la conversión; 5 = Incertidumbre en los cambios de almacén de carbono por ha; 6 = Incertidumbre total en las superficies de los mapas; 7 = Incertidumbre al cambio del almacén de carbono durante la conversión de la superficie; 8 = emisiones por la conversión.

TABLA 7.15 ESTIMACIÓN DE GASES TRAZA DERIVADOS DE LA COMBUSTIÓN DE LA BIOMASA DE LOS BOSQUES

TIPO DE GAS	EMISIONES POR COMBUSTIÓN (Gg)
CH ₄	127
CO	1,113
N ₂ O	1
NO _x	32

Por la escasez de fuentes de información de los factores de emisión, se sugiere aplicar un intervalo de incertidumbre del 70%.

7.3.4. Abandono de las áreas manejadas

El resultado de las áreas de vegetación abandonadas que se regeneran para los primeros 9 años muestra un total de 5,071.6 kha, mientras que la superficie de más de 9 años presenta una cifra de 555 Kha (Tabla 7.16).

La absorción total de carbono por la recuperación de áreas forestales es de 3,513.8 Gg C por año o 12,883 Gg CO₂, principalmente proveniente de las áreas abandonadas entre 1993 y 2002 (Tabla 7.17). Cabe señalar que para las áreas abandonadas >9 años no se tomó en cuenta las áreas con vegetación secundaria abandonada, ya que no se tienen datos sobre en que medida ya han recuperado su biomasa en el año 1993.

Como se explicó en la sección de métodos, para el análisis de la superficie en abandono a partir de la información del inventario forestal de 1976, únicamente se utilizaron los datos de agricultura que paso a bosque. Este resultado por consecuencia es bajo, ya que no incorpora las áreas de pastizales inducidos que posteriormente fueron abandonados durante este periodo de tiempo. Está información aunque no refleja la realidad histórica de la captura que puede suceder en las áreas abandonadas del país, permite considerar cuantificativamente una tendencia de la absorción que se presenta de manera natural ade-

TABLA 7.16 SUPERFICIES ABANDONADAS QUE SE REGENERA EN DISTINTOS TIPOS DE BOSQUES.

TIPO DE VEGETACIÓN	SUPERFICIES ABANDONADAS (KHA)	
	MENOS DE 9 AÑOS	MAS DE 9 AÑOS
Bosques		
Coníferas veg. sec.	91.9	65
Coníferas-latifoliadas veg. sec.	199	40
Latifoliadas veg. sec.	183	65
Selvas		
Selva alta y mediana veg. sec.	1,253	112
Selva baja veg. sec.	796	246
Matorrales		
Veg. sec.	197	27
Manglar		
Veg. sec.	45	
Pastizales naturales	768	
Áreas agrícolas, pecuarias y plantaciones (IAPF)	1,473	
Otros	66	
Total	5,071.6	555

TABLA 7.17 ABSORCIÓN DE CARBONO POR ABANDONO.

Tipo de Vegetación	Gg C	
	9 AÑOS	> 9 AÑOS
Bosques	287.7	106.9
Selvas	2,398.3	71
Matorral y pastizal	646.2	3.53
Total	3,332.2	181.6

más de la que obtiene por otras actividades forestales como son las prácticas de manejo forestal.

Incertidumbre asociada a las estimaciones de los flujos de CO₂ por abandono de áreas manejadas

Para el análisis de incertidumbre se aplicaron las fórmulas 8 y 9 (sección 7.2.1) y usando el juicio de expertos y factores calculados en las otras secciones para estimar la incertidumbre de cada actividad o factor de emisión. El análisis de incertidumbre para las áreas abandonadas, resultó en un incertidumbre absoluta de 35.8% (Tabla 7.18).

7.3.5. Cambios en el carbono de los suelos minerales

Contenido de carbono orgánico en los suelos de México

El agrupamiento general de los valores reportados, mostró que el resultado del contenido de Carbono Orgánico en el Suelo (COS) era congruente con la distribución de los climas y las zonas con mayor productividad de biomasa. De acuerdo a las definiciones del PICC cuando se realiza el agrupamiento de las diferentes unidades de suelo señaladas por éste, se puede observar que los muestreos arrojan una alta concentración de sitios en la clasificación HAC (High Activity Clay por sus siglas en inglés), seguido por los suelos arenosos con 18% de los valores reportados. Esta situación puede deberse a la alta presencia de este tipo de suelo o a una deficiencia en la metodología del muestreo. Los valores de COS por tipo de suelo PICC (Mg C ha⁻¹) se indican en el Tabla 7.19.

El análisis general de los suelos de México (0-30 cm), indica que los valores más altos de COS se concentran en aquellos con origen volcánico, con valores

TABLA 7.18 INCERTIDUMBRE RELACIONADA AL CÁLCULO DE LA ACUMULACIÓN DE CARBONO EN ÁREAS ABANDONADAS.

	1	2	3	4	5	6	7
	%	%	%	%	%	%	Gg C
Coníferas veg. sec.	20	30	10	20	2	42.5	59.8
Coníferas-latifoliadas veg. sec.	20	40	10	20	2	50	109.3
Latifoliadas veg. sec.	20	35	10	20	2	46.1	118.7
Selva alta y mediana veg. sec.	20	50	10	20	2	58.3	17.8
Selva baja veg. sec.	20	50	10	20	2	58.3	1,942.8
Matorral veg.sec.	20	50	10	20	2	58.3	437.6
manglar veg. sec.	20	50	10	20	2	58.3	52.3
Pastizal natural	20	50	10	20	2	58.3	203.5
IAPF	20	50	10	20	2	58.3	390.4
Total							3,332.2
Valor absoluto de Incertidumbre						35.8	

1 = Incertidumbre en superficies; 2 = Incertidumbre en incrementos; 3 = Incertidumbre en densidad de madera; 4 = Incertidumbre en factor de expansión; 5 = Incertidumbre en fracción de C; 6 = Incertidumbre acumulada; 7 = Acumulación anual

TABLA 7.19 VALORES PROMEDIO DE CARBONO ORGÁNICO EN EL SUELO (COS, Mg C ha⁻¹) POR TIPO DE SUELO PICC.

Unidad de Suelo IPCC	COS (Mg C ha ⁻¹)
HAC	91.35
LAC	70.36
Arenoso	41.64
Volcánicos	93.70
Humedales (no-Histosol)	49.43
Promedio general	75.45

promedio de 93.70 MgC ha⁻¹, seguidos de los denominados HAC (arcillas de alta actividad) con 91.35 MgC ha⁻¹. Estos valores son concordantes con los reportados por PICC para valores por defecto (PICC, 1996).

El análisis conjunto del contenido de carbono por unidad de suelo y uso de suelo, muestra que existe una alta concordancia entre las especies vegetales y climas que permiten el desarrollo de biomasa en altas cantidades y altos niveles de COS en los suelos. En este sentido los suelos con mayores valores de COS son los presentes en manglares y en selvas altas y medianas, mientras que los valores mas bajos se registran en suelos de arcillas de baja actividad en que se encuentran preferentemente en las selvas bajas (Tabla 7.20 y Figura 7.10).

Finalmente y como ya se indicó, el cálculo de captura o emisiones de carbono en los suelos de la República Mexicana se realizó con base en la variación de la cobertura de los diferentes usos de suelo asociados a una concentración de COS. A partir de este balance se puede indicar que los mayores cambios en superficie que representarían las mayores emisiones de CO₂, se presentan en los bosques de latifoliadas en fase de vegetación secundaria y en las selvas bajas. Por su parte, las mayores capturas se registran en IAPF (integrado por áreas agrícolas, pecuarias y plantaciones) y en bosques de latifoliadas pero en su fase primaria (Tabla 7.21).

Balace general

Al realizar el balance general entre emisiones y capturas para todo el país, se obtuvo que las emisiones provenientes desde el suelo como consecuencia del cambio en su uso en el sector forestal fueron 74,317 Gg C en el periodo evaluado, lo cual corresponde a una emisión de 8,257 Gg C anual, equivalente a 30,277 Gg CO₂. En las Figura 7.11 y 7.12 se representa los balances generales.

El análisis anual del balance previo muestra que las emisiones superan a las capturas, por lo que los suelos de la República serian emisores netos de carbono, con 8 257 Gg C año⁻¹ (Figura 6.13).

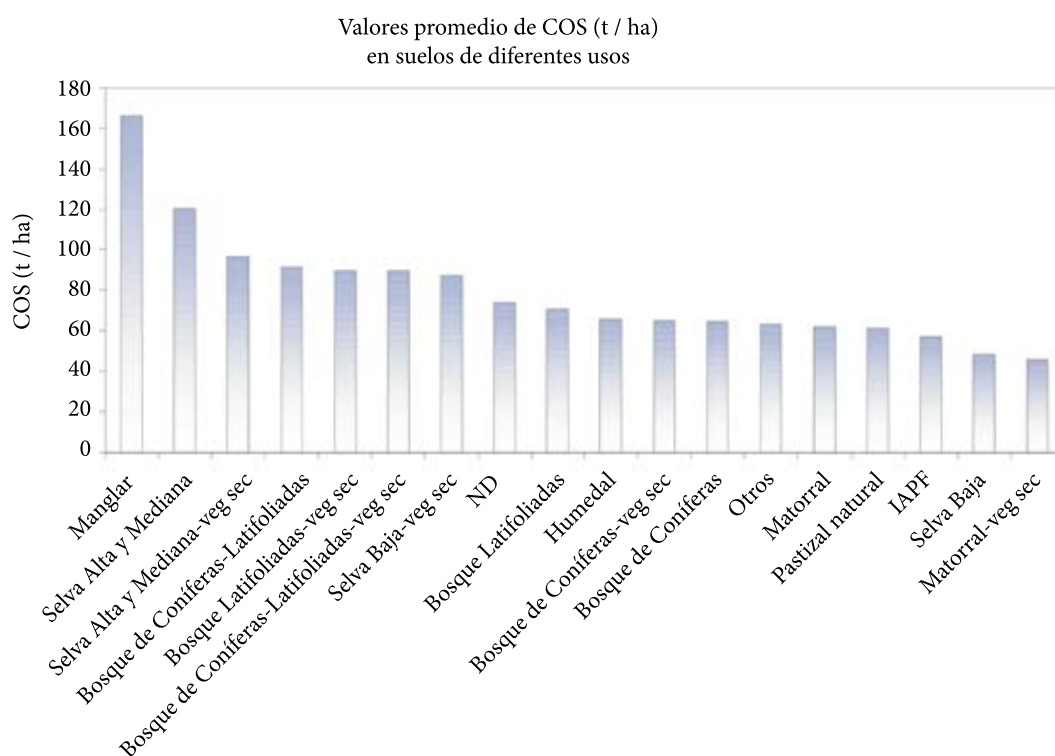
TABLA 7.20 VALORES PROMEDIO DE CARBONO ORGÁNICO EN EL SUELO (COS, MG C HA⁻¹) POR TIPO DE VEGETACIÓN EN EL AÑO 2002.

USO DE SUELO	TIPO DE SUELO (PICC)	COS (MGC HA ⁻¹)
Bosque de Coníferas	HAC	63.32
	LAC	30.59
Bosque de Coníferas-veg sec	Volcánico	100.02
	HAC	58.41
Bosque de Coníferas-Latifoliadas	Volcánico	71.77
	HAC	89.4
Bosque de Coníferas-Latifoliadas-veg sec	LAC	122.57
	Volcánico	62.46
Bosque Latifoliadas	HAC	80.59
	LAC	152.44
Bosque Latifoliadas-veg sec	Arenoso	30.75
	Volcánico	93.69
Selva Alta y Mediana	HAC	79.49
	LAC	61.8
Selva Alta y Mediana-veg sec	HAC	123.5
	LAC	110.2
Selva Baja	Arenoso	64.63
	Volcánico	59.39
Selva Baja-veg sec	HAC	165.72
	LAC	57.9
Matorral	Volcánico	137.89
	HAC	115.43
Matorral-veg sec	LAC	41.76
	Volcánico	131.62
Humedal	HAC	98.01
	LAC	16.21
IAPF	Arenoso	29.81
	HAC	97.92
Pastizal natural	LAC	81.76
	Arenoso	42.75
Manglar	Volcánico	126.71
	HAC	59.42
Pastizal natural	Arenoso	63.97
	HAC	80.2
Manglar	LAC	27.15
	Arenoso	29.73
Pastizal natural	HAC	53.78
	Humedal	78.2
Manglar	HAC	84.47
	LAC	49.05
Pastizal natural	Arenoso	42.46
	Volcánico	80.33
Manglar	Humedal	28.36
	HAC	165.92
Pastizal natural	HAC	67.37
	LAC	92.85
Pastizal natural	Arenoso	27.97
	Volcánico	74.17
Pastizal natural	Humedal	43.71

TABLA 7.20 VALORES PROMEDIO DE CARBONO ORGÁNICO EN EL SUELO (COS, Mg C HA⁻¹) POR TIPO DE VEGETACIÓN EN EL AÑO 2002.
(CONTINUACIÓN)

USO DE SUELO	TIPO DE SUELO (PICC)	COS (MgC HA ⁻¹)
Otros	HAC	69.98
	Arenoso	42.69
	Volcánico	92.64
	Humedal	47.43
ND		74.08

FIGURA 7.10 VALORES DE COS PARA LOS PRINCIPALES USOS DE SUELO.



Análisis de incertidumbre asociada a los cálculos de flujos de carbono del suelo

De acuerdo a las D PICC 1996 R se realizó el análisis de incertidumbre del flujo de carbono en el módulo de suelos de acuerdo al método de Nivel 1, es decir una combinación simple de las incertidumbres por categoría de fuentes para estimar la incertidumbre general. Se detectaron cinco principales rubros que tienen el mayor grado de incertidumbre asociado al cálculo de flujos, esta son:

- 1 Densidad de carbono en el suelo
- 2 Superficie tipo de suelo
- 3 Superficie uso de suelo
- 4 Densidad aparente
- 5 Estimación de profundidad

La incertidumbre producto de varias mediciones fue calculada utilizando la ecuación (12):

$$U_{total} = \sqrt{U_1^2 + U_2^2 + \dots + U_n^2} \quad (12)$$

TABLA 7.21 VALORES DE CARBONO ORGÁNICO EN EL SUELO TOTALES DE ACUERDO A LAS COBERTURAS DE LOS DIFERENTES USOS DE SUELO EN LA REPÚBLICA MEXICANA.

VEGETACIÓN	COS 1993 (Gg C)	COS 2002 (Gg C)	DIFERENCIA (Gg C)
Bosque Latifoliadas-veg. sec.	1,029,525	945,047	84,478
Selva Baja-veg. sec.	692,131	626,511	65,620
Bosque de Coníferas-Latifoliadas-veg. Sec.	879,980	820,563	59,417
Matorral	2,931,536	2,888,745	42,791
Selva Alta y Mediana-veg. sec.	441,100	402,605	38,495
Selva Baja	1,087,483	1,055,953	31,530
Selva Alta y Mediana	1,499,625	1,479,941	19,684
Pastizal natural	1,351,540	1,336,943	14,597
Bosque de Coníferas	370,420	356,040	14,380
ND	804,465	793,426	11,039
Matorral-veg. sec.	268,048	263,792	4,256
Manglar	71,958	68,316	3,642
Humedal	54,533	54,454	79
Otros	356,467	359,820	-3,354
Bosque de Coníferas-veg. Sec.	60,480	71,809	-11,329
Bosque Latifoliadas	294,758	333,133	-38,376
Bosque de Coníferas-Latifoliadas	188,114	230,387	-42,273
IAPF	2,999,012	3,219,371	-220,359
Total general	15,381,173	15,306,856	74,317

FIGURA 7.11 BALANCE DEL FLUJO DE COS EN LOS DIFERENTES USO DEL SUELO Y EMISIONES TOTALES PARA EL PERIODO DE 1993 A 2002.

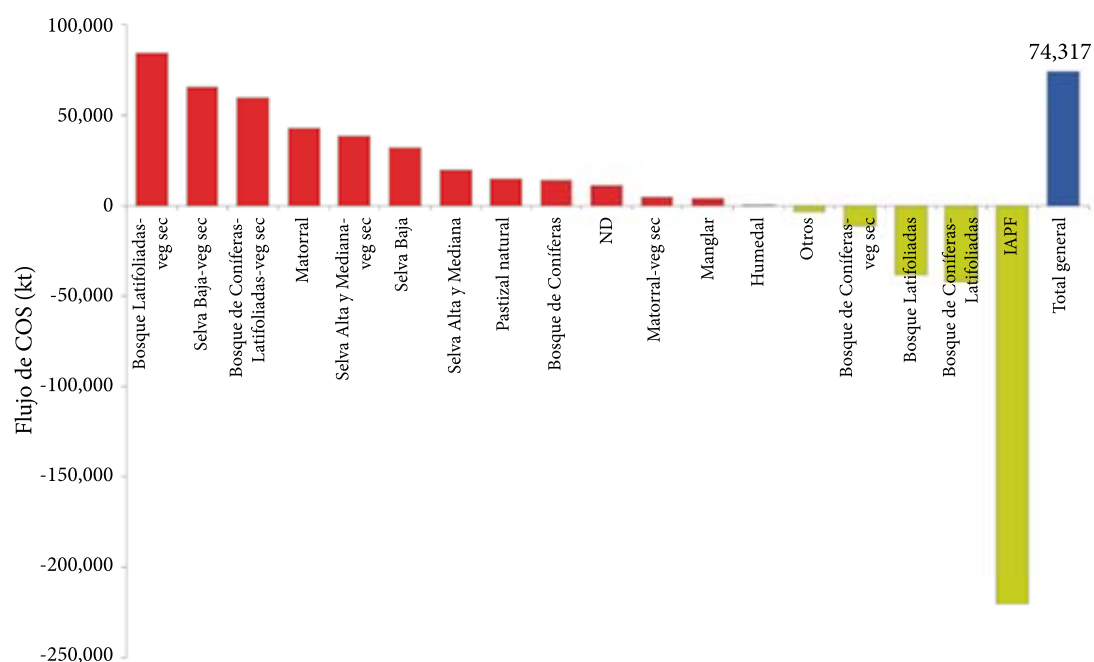


FIGURA 7.12 BALANCE ANUAL DE EMISIONES-CAPTURAS DEL COS Y EMISIONES TOTALES ANUALES EN Gg C.



Donde:

U_{total} = Porcentaje de la incertidumbre con respecto al producto de las cantidades (la mitad del intervalo de confianza de 95% dividido por el total y expresado en porcentaje).

U_i = Porcentaje de las incertidumbres asociadas a cada una de las cantidades, $i = 1, \dots, n$.

Para combinar cantidades inciertas (sumándolas o restándolas), para calcular la incertidumbre general en las estimaciones de emisiones de carbono de distintas fuentes, se usó la ecuación 13.

$$U_{total} = \sqrt{(U_1 * X_1)^2 + (U_2 * X_2)^2 + \dots + (U_n * X_n)^2} / X_1 + X_2 + \dots + X_n \quad (13)$$

Donde:

U_{total} = Incertidumbre porcentual de la suma.

U_i = Incertidumbre porcentual asociada a la fuente/sumidero i .

X_i = Estimación de la emisión/ la absorción relativa a la fuente/al sumidero i .

En las Tablas 7.22 y 7.23 se muestran los valores de incertidumbre asociadas a las capturas y emisiones para cada ítem y el valor total.

Discusión

La presencia de carbono en el suelo depende tanto del historial de la vegetación que en ellos se ha desarrollado como del manejo al que han sido expuestos (Lal, 2005). En este sentido indirectamente el suelo cumple tanto una función de sumidero del dióxido de carbono ambiental (al ser captado por las plantas a través de la fotosíntesis e inmovilizado en las raíces y residuos vegetales) como emisor de este gas principalmente en procesos de oxidación de la materia orgánica. Así, cuando el suelo conserva un determinado uso y este no implica actividades que disturben el suelo como pueden ser las prácticas agrícolas, estos pueden actuar como importantes reservorios de materia orgánica y por tanto de carbono. Al contrario, cuando un suelo es sometido a un cambio de uso o actividades que re-

TABLA 7.22 ESTIMACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE ASOCIADA AL CÁLCULO DE LA CAPTURA Y EMISIÓN DE CARBONO EN SUELOS MINERALES.

	1	2	3	4	5	6	7
	%	%	%	%	%	%	Gg C AÑO ⁻¹
Captura							
Otros	2	10	10	15	10	23	373
Bosque de Coníferas-veg. Sec.	2	10	10	15	10	23	1,259
Bosque Latifoliadas	2	10	10	15	10	23	4,264
Bosque de Coníferas-Latifoliadas	2	10	10	15	10	23	4,697
IAPF	2	10	10	15	10	23	24,484
Total							35,077
Valor absoluto de Incertidumbre						16.7	
Emisión							
Bosque Latifoliadas-veg. sec.	2	10	10	15	10	23	9,386
Selva Baja-veg. sec.	2	10	10	15	10	23	7,291
Bosque de Coníferas-Latifoliadas-veg. sec.	2	10	10	15	10	23	6,602
Matorral	2	10	10	15	10	23	4,755
Selva Alta y Mediana-veg. sec.	2	10	10	15	10	23	4,277
Selva Baja	2	10	10	15	10	23	3,503
Selva Alta y Mediana	2	10	10	15	10	23	2,187
Pastizal natural	2	10	10	15	10	23	1,622
Bosque de Coníferas	2	10	10	15	10	23	1,598
ND	2	10	10	15	10	23	1,227
Matorral-veg. Sec.	2	10	10	15	10	23	473
Manglar	2	10	10	15	10	23	405
Humedal	2	10	10	15	10	23	9
Total							43,334
Valor absoluto de Incertidumbre						8.4	

1= Incertidumbre en densidad de carbono; 2 = Incertidumbre en superficie por tipo de suelo; 3 = Incertidumbre por densidad aparente del suelo; 4 = Incertidumbre en la profundidad; 5 = Incertidumbre en la superficie de uso de suelo; 6 = Incertidumbre acumulada; 7 = Captura o emisión de C.

TABLA 7.23 ESTIMACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE ABSOLUTA DEL MODULO DE CARBONO ORGÁNICO DEL SUELO.

	INCERTIDUMBRE	
	Gg C	%
Captura de carbono	43,334	8.4
Emisión de carbono	-35,077	16.7
Total	8,257	
Valor absoluto de la incertidumbre	83.5	

mueve el suelo, a este se permite la oxidación de la materia orgánica contenida, como ocurre generalmente en la incorporación de suelos a la agricultura. En estos momentos los suelos liberan grandes cantidades de CO₂.

De acuerdo a este análisis, se puede indicar que los valores reportados de COS son concordantes en dirección y orden de magnitud con los valores sugeridos por defecto por IPCC, lo que da robustez a la información generada en este estudio. Según la información generada en el presente trabajo, los mayores valores de COS se encuentran en los suelos de origen volcánico

y en los HAC situación completamente concordante con el mayor nivel de fertilidad que presentan estos suelos y por tanto mayor productividad de biomasa. Por lo contrario, los suelos arenosos registraron los menores valores de COS de acuerdo a su menor nivel de fertilidad natural y su ubicación geográfica asociada a climas áridos. Los suelos húmedos presentaron valores intermedios de COS de acuerdo a que la presencia de agua en ellos puede limitar el desarrollo vegetal en algunos periodos del año.

En cuanto a los valores reportados por tipo de vegetación se puede indicar que los valores más altos de COS siguieron una tendencia esperada de acuerdo a la vegetación presente y al tipo climático. Los manglares, selvas y bosques presentan los mayores valores de COS (alta productividad primaria neta). En este sentido cabe mencionar que dado el stock de carbono presente en los suelos donde se ubican estos tipos de vegetación, el cambio de uso de suelo tendrá un efecto importante en la cantidad de emisiones del gas CO₂ que se liberen a la atmósfera. Los matorrales presentan los menores valores de COS en concordancia a su ubicación en situaciones de mayor aridez dentro del país.

7.3.6. Carbono del suelo en áreas impactadas por la agricultura

Mediante este ejercicio se estableció que los valores más altos de COS se presentaron en suelos de bosques de latifoliadas y bosques de coníferas y latifoliadas, ambos en fase de sucesión secundaria. Por el contrario los valores menores de COS se encuentran en suelos de matorrales tanto en su fase primaria como secundaria (Figuras 7.13 y 7.14).

Análisis de incertidumbre asociada al carbono en el suelo en áreas impactadas por la agricultura

Para cada factor se calculó o estimó la incertidumbre, aplicando las fórmulas 11 y 12 (sección n6.4.5) y el juicio de expertos para estimar la incertidumbre de cada actividad o factor de emisión. La incertidumbre absoluta se estima en 23%. Cabe señalar que los cálculos sólo se refieren a los impactos por unidad de superficie. El Software PICC versión 1.1 no permite calcular las emisiones totales derivados de está actividad.

FIGURA 7.13 CARBONO EN SUELOS DE ÁREAS IMPACTADAS POR LA AGRICULTURA.

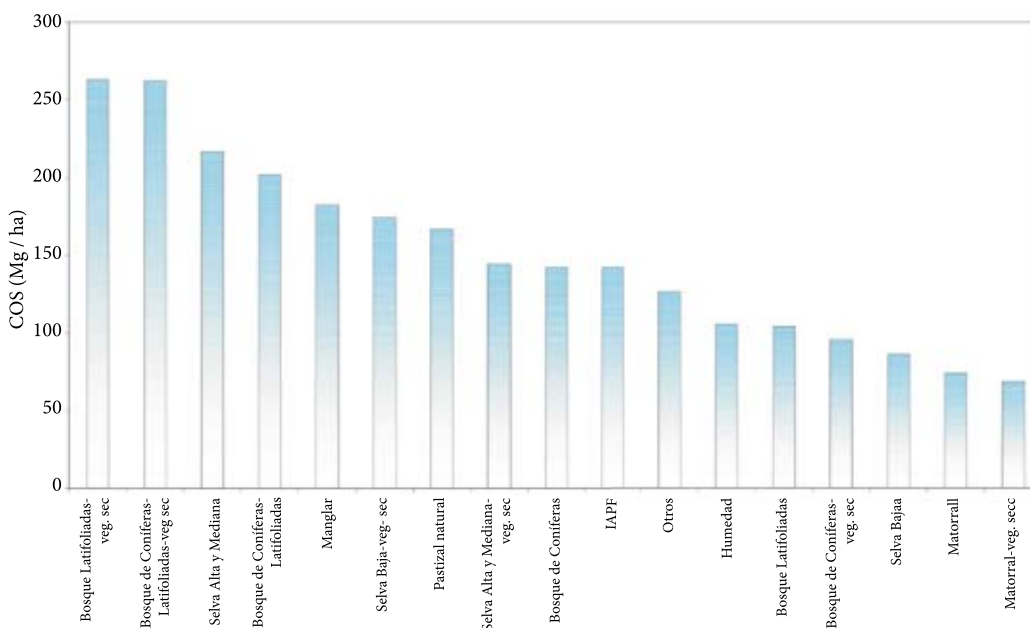


FIGURA 7.14 CAMBIO DEL CONTENIDO DE CARBONO EN SUELOS DE ÁREAS IMPACTADAS POR LA AGRICULTURA SEGÚN LOS FACTORES DE MANEJO APLICADOS.

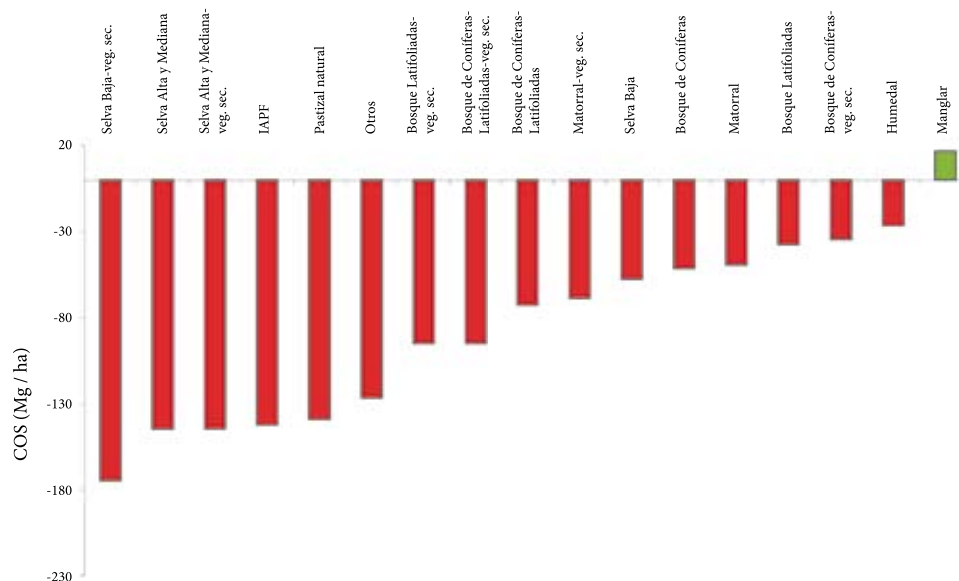


TABLA 7.24 ESTIMACIÓN DE INCERTIDUMBRE ASOCIADA AL CÁLCULO DEL CARBONO ORGÁNICO EN EL SUELO DE ÁREAS IMPACTADAS POR LA AGRICULTURA.

TIPO DE VEGETACIÓN	1 %	2 %	3 %	4 %	5 %	6 %	7 %	8 %	9 %	10 %	11 MG G HA ⁻¹
Bosque Latifoliadas-veg. sec.	2	10	10	15	10	2	50	50	50	90	263
Bosque Coníferas-Latifoliadas-veg. sec.	2	10	10	15	10	2	50	50	50	90	263
Selva Alta y Mediana	2	10	10	15	10	2	50	50	50	90	217
Bosque de Coníferas-Latifoliadas	2	10	10	15	10	2	50	50	50	90	202
Manglar	2	10	10	15	10	2	50	50	50	90	183
Selva Baja-veg. sec.	2	10	10	15	10	2	50	50	50	90	175
Pastizal natural	2	10	10	15	10	2	50	50	50	90	167
Selva Alta y Mediana-veg. sec.	2	10	10	15	10	2	50	50	50	90	144
Bosque de Coníferas	2	10	10	15	10	2	50	50	50	90	143
IAPF	2	10	10	15	10	2	50	50	50	90	142
Otros	2	10	10	15	10	2	50	50	50	90	126
Humedal	2	10	10	15	10	2	50	50	50	90	106
Bosque Latifoliadas	2	10	10	15	10	2	50	50	50	90	104
Bosque de Coníferas-veg. sec.	2	10	10	15	10	2	50	50	50	90	96
Selva Baja	2	10	10	15	10	2	50	50	50	90	86
Matorral	2	10	10	15	10	2	50	50	50	90	74
Matorral-veg. sec.	2	10	10	15	10	2	50	50	50	90	69
Total											2,558
										Valor absoluto de Incertidumbre	23

1 = Incertidumbre en la densidad de carbono; 2 = Incertidumbre en la superficie por tipo de suelo
 3 = Incertidumbre en la densidad aparente de suelo; 4 = Incertidumbre en la profundidad de suelo;
 5 = Incertidumbre en la superficie de uso de suelo; 6 = Incertidumbre en los fragmentos gruesos;
 7 = Incertidumbre en el factor base; 8 = Incertidumbre en el factor labranza; 9 = Incertidumbre en los factores de entrada; 10 = Incertidumbre acumulada; 11 = Área impactada por la agricultura.

7.3.7. Emisiones de carbono por encalado de suelos agrícolas

En este análisis preliminar del uso de cal en el sector agrícola multiplicados por los factores de conversión a carbón propuestos por PICC, dan para la República Mexicana una emisión total de 18 Gg de C originadas a partir del uso de cal.

7.3.8. Resumen de Resultados

La actualización del inventario del sector USCUS al año 2002 arroja los siguientes resultados generales:

Emisiones Netas

- 1 El sector USCUS aporta un total de emisiones de 86,877 Gg CO₂, 127 Gg CH₄, 1.113 Gg CO, 1 Gg N₂O y 32 Gg NO_x.
- 2 Estas emisiones son el resultado del balance entre 64,484 Gg CO₂ provenientes de la combustión y descomposición de biomasa aérea asociada a los procesos de conversión de bosques a otros usos,

30,344 Gg CO₂ por emisiones derivadas de los suelos minerales y áreas agrícolas, 4,932 Gg CO₂ por emisión en bosques manejados y una captura de 12,883 Gg CO₂ en tierras abandonadas.

- 3 El elevado ritmo de cambio de uso de suelo hacia cubiertas no forestales, trae aparejado emisiones considerables de carbono producto de la combustión y descomposición de la biomasa vegetal removida en los bosques así como en la pérdida de carbono orgánico de los suelos. Asimismo, el manejo no sustentable de los bosques en los que la extracción domina sobre la regeneración y la reforestación implica emisiones adicionales de gases de efecto invernadero.

Incertidumbre de las estimaciones

- 4 Se ha realizado también una primera estimación de la incertidumbre asociada a los datos, misma que alcanza 259% en el caso del manejo de bosques, 109% para suelos, 35.8% para las áreas abandonadas, 12% para la conversión de bosques, selvas y matorrales y 70% para las emisiones de gases no-CO₂.

FIGURA 7.15 RESUMEN DE LAS EMISIONES DE CADA SECCIÓN Y SUS NIVELES DE INCERTIDUMBRE ESTIMADA.

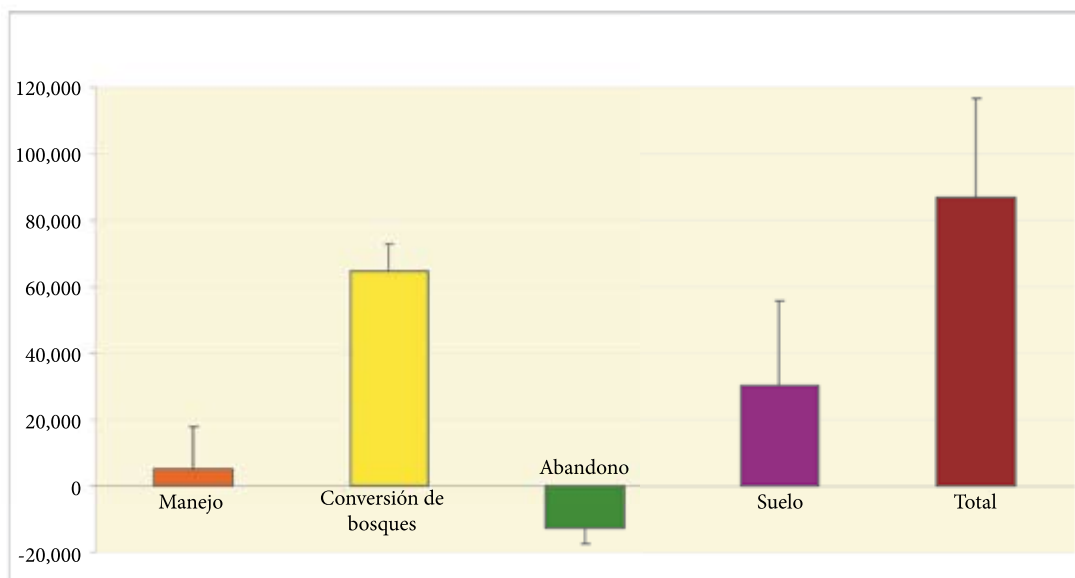


TABLA 7.25 INCERTIDUMBRE TOTAL ASOCIADA AL INVENTARIO NACIONAL DE GEI EN EL SECTOR USCUS

CATEGORÍA	EMISIONES DE CO ₂ (Gg CO ₂) DEL SECTOR	INCERTIDUMBRE (%)
Cambios en bosques y otros almacenes de biomasa leñosa	4,932	(259)
Bióxido de carbono proveniente de la conversión de bosques y pastizales	64,484	(12)
Abandono de áreas manejadas	-12,883	(35.8)
Cambios en el carbono de suelos minerales	30,278	(106)
Emisiones de carbono por encalado de suelos	66	S.D
Total CO ₂	86,886	± 29,894 (34.4%)

7.4. Conclusiones

7.4.1. Cambios de Biomasa en Bosques y otros tipos de vegetación leñosa

El balance negativo de captura de carbono sugiere que los bosques con manejo pueden estar sufriendo un proceso de degradación como consecuencia de una tala que supera la capacidad de los bosques para producir biomasa. Los incrementos de biomasa en bosques con autorización para aprovechamientos de madera están por debajo de su potencial productivo, lo que evidencia la importancia de expandir el uso de mejores sistemas silvícolas. La tala no autorizada de madera industrial es superior a los aprovechamientos de madera autorizados por lo que tiene un papel importante en el deterioro de los bosques y en las emisiones de carbono hacia la atmósfera. El establecimiento de plantaciones comerciales forestales todavía no tiene un papel significativo en la producción maderable y en la captura de carbono.

7.4.2. Bióxido de carbono proveniente de la conversión de Bosques y Pastizales

El cambio de uso de suelo, como resultado de las actividades humanas, constituye hoy día el aspecto más importante entre los procesos de cambio global (Dale 1997). Se estima que cerca de la mitad de la cobertura vegetal del planeta, ha sufrido alguna transformación a

causa de la deforestación, degradación o fragmentación (Daily 1995), generando a su vez nuevas alteraciones como por ejemplo, en los ciclos biogeoquímicos y en la pérdida de biodiversidad (Houghton 1994; Dale 1997).

De acuerdo a los resultados obtenidos en este estudio para el periodo 1993 al 2002, cerca de 17 millones de hectáreas del país sufrieron algún tipo de modificación, ocasionando un flujo neto de CO₂ a la atmósfera por pérdida de biomasa de 51,600 Gg CO₂ por año. Sin embargo, considerando que por lo general la estimación exacta de estas emisiones presenta dificultades (p.ej. para cuantificar la tasa de deforestación y abandono de manera espacialmente explícita, calcular la biomasa inicial y del destino del carbono una vez que el uso de suelo ha sido modificado; Dale 1997; DeFries *et al.* 2002). En la sección 7.5 se mencionan algunas recomendaciones para futuros inventarios de GEI:

7.4.3. Emisiones de gases traza distintos al CO₂ derivados de la combustión in situ de la biomasa forestal

Las emisiones de los gases traza distintos al CO₂ producto de la combustión de biomasa, en el presente inventario mostraron una reducción considerable respecto a las emisiones determinadas en el inventario anterior. Estos valores como son subproducto de otros análisis serán mas precisos en la medida en que los otros datos de actividad mejoren.

7.4.4. Abandono de las áreas manejadas

La reducción en la remoción de carbono por la recuperación de las áreas de manejo abandonadas representa un acercamiento más real a la realidad de la captura de carbono que esta sucediendo en la recuperación de la vegetación arbórea. Aunque falta analizar con más detalle el papel de las áreas abandonadas mayores a 9 años.

7.4.5. Cambios en el carbono de los suelos minerales

Los suelos de la República Mexicana son emisores netos del gas efecto invernadero CO₂ en una magnitud de 30,277 Gg por año expresados en CO₂ equivalente. Para mejorar la estimación de emisiones de carbono del suelo, se requiere más información directa entre el carbono en el suelo y carbono en la vegetación. En este informe no se tenía a disposición de esta información, por lo que la incertidumbre en las estimaciones es alta.

7.4.6. Carbono del suelo en áreas impactadas por la agricultura

El mayor impacto negativo en el contenido del COS en suelos que originalmente correspondían a la clase Selva Baja en fase de sucesión secundaria y Selva Alta en fase primaria y secundaria y que experimentaron un cambio de uso hacia actividades agrícolas. En tanto que el menor cambio ocurrió en los humedales y manglares. En estos últimos la estimación señala incluso un pequeño incremento en el COS.

Se recomienda conducir investigaciones que permitan generar factores de emisión para los suelos que originalmente estaban cubiertos con vegetación nativa y que por el cambio de uso fueron impactados por la agricultura. Como ya se señaló anteriormente, no se pudo calcular las emisiones totales, ya que el software PICC versión 1.1 no lo permite. Se recomienda usar las nuevas versiones del software para futuros inventarios.

7.4.7. Emisiones de carbono por encalado de suelos agrícolas

Como se puede ver, hoy en día la superficie que representan los suelos ácidos con uso agrícola donde potencialmente se utiliza la mayor cantidad de cal es muy baja con respecto a la superficie agrícola total, por lo que las emisiones desde esta fuente pueden considerarse de poca relevancia en el total nacional.

Con el propósito de disminuir la incertidumbre debe crearse una estadística nacional robusta de uso de la cal en la agricultura que permita realizar estimaciones confiables de las emisiones producidas por su uso. Hoy en día, a raíz de las actividades humanas como son el uso intensivo del suelo, el mal manejo del riego y el uso de fertilizantes acidificantes están promoviendo que la práctica del encalado sea cada vez más común y por tanto la magnitud de las emisiones totales de CO₂ podrían alcanzar valores significativos en el futuro.

7.5. Recomendaciones

1. *Mejorar las estimaciones sobre incrementos en biomasa.* De acuerdo con los análisis de incertidumbre, los datos de incremento volumétricos son una fuente importante de error en los cálculos de captura de carbono por lo que para mejorar las estimaciones es imperativo generar una base de datos nacional de los incrementos de madera en bosques con manejo. Más aún, es necesario tratar de estimar los incrementos de biomasa total con ecuaciones alométricas para reducir la incertidumbre asociada a los datos de densidad básica de la madera y a los factores de expansión de biomasa. Es decir, se requiere mayor precisión en las tasas de incremento por año en los bosques con regeneración natural, ya que esto puede mejorar significativamente las tasas de captura. En este reporte se utilizaron los datos de bosques bajo manejo y valores por defecto, lo cuál a juicio de expertos, cambia totalmente debido a las condiciones ecológicas que imperan en los sitios abandonados.

2. *Mejorar estimaciones de factores de expansión.* Con relación a las emisiones de carbono una de las principales fuentes de error es el uso de factores de expansión de biomasa “por defecto”, por lo cual es importante generar datos nacionales al respecto. Las relaciones alométricas entre las estructuras de los árboles varían no sólo entre especies, sino también en las especies de árboles debido a las características de los sitios donde crecen (p.ej. tipo de suelo, clima etc.), a la densidad del rodal, entre otras cosas, por ellos los factores de expansión deben de calcularse por especie bajo diferentes condiciones ambientales.
3. *Mayor precisión en la estimación de tala ilegal.* La tala ilegal juega un papel importante en la tendencia negativa de captura de carbono reportada en este estudio, pero la tala ilegal tiene una gran incertidumbre por lo que es necesario crear una metodología que no sólo conduzca a una mejor estimación sino que también permita entender su complejidad, con el fin de combatirla de una mejor manera.
4. *Delimitación de las coberturas forestales.* Se recomienda que en un siguiente estudio se incorpore mapas que tiene elaborado el INEGI sobre la cobertura de la vegetación y un mapa con la altura de la vegetación.
5. *Mejorar estimaciones sobre densidades de biomasa por tipo de vegetación.* La CONAFOR se encuentra realizando el más reciente inventario nacional forestal, el cual al momento tiene muestreado cerca de 350,000 árboles y 7 mil sitios. Un análisis similar al realizado con los datos del INF de 1994 ayudaría a mejorar las estimaciones sobre densidades de biomasa antes y después del proceso de cambio. Además, esta nueva información también podría usarse en perfeccionar las estimaciones sobre tasas de incrementos en sitios abandonados y con ello su potencial de captura.
6. *Estimación de biomasa mediante técnicas de interpolación.* Sería recomendable explorar otras técnicas de análisis espacial que permitan asignar información del contenido de biomasa de los sitios de muestreo a los polígonos de vegetación, por ejemplo, mediante técnicas de interpolación de puntos.
7. *Mejorar estimaciones en arbustos y hierbas.* Un siguiente estudio podría explorar bases de datos como la de COTECOCA, con el fin de mejorar los cálculos sobre el aporte de arbusto y hierbas al total de biomasa.

Del ejercicio realizado en el modulo de suelos en esta aproximación sobresalen los siguientes puntos importantes para evaluar con objeto de disminuir el nivel de incertidumbres asociados a inventarios realizados en México:
8. Cambiar la estrategia de estimación del COS en las clases de suelos y vegetación, en vez de usar un promedio simple emplear un promedio ponderado, que refleje la cantidad de datos disponibles y la superficie de las clases. Es altamente recomendable que se defina una estrategia de interpolación/escalamiento espacial que tome en cuenta la dispersión espacial de los datos y los factores de escala asociados a los muestreos.
9. Con relación a las bases de datos es importante realizar un ejercicio detallado para mejorar:
 - Las estimaciones de la DA usando información de INEGI y de otras fuentes y validarlas con observaciones de campo. Se recomienda utilizar y validar otras estrategias de homogeneidad espacial. Asimismo, es importante analizar funciones de pedotransferencia que reduzcan la incertidumbre en las estimaciones de la DA.
 - Las estimaciones del porcentaje de fragmentos grueso (> 2mm) en los suelos, para corregir las estimaciones del COS por este factor. Se recomienda el análisis de la información indirecta disponible del INEGI para este fin.
 - La base de datos de INEGI de 1993, se recomienda revisar los valores originales, para analizar el efecto de utilizar grupos de años como un estimado del año base 1993.
10. Es altamente recomendable que el esfuerzo del Inventario Nacional de la Comisión Nacional Forestal, en proceso, incluya la recolección de muestras

de suelo en los sitios de muestreo, para poder así contar con información simultánea del COS y de la vegetación. Ésta es una oportunidad única que no debe desaprovecharse.

En cuanto a los datos de carbono en suelos se recomienda:

1. Mayor número de sitios de muestreo.
2. Mayor distribución de los sitios de muestreo en la República Mexicana
3. Temporalidad de los muestreos (repetición del muestreo en el mismo sitio en diferentes años, sitios pareados)
4. Mejor relación entre los valores edáficos y de vegetación por sitio (se debe aprovechar el trabajo del inventario forestal de CONAFOR)
5. Crear una base de datos de la densidad aparente de los suelos del país para transformar valores gravimétricos a valores volumétricos del COS
6. Crear una base de datos de pedregosidad y gravosidad de los suelos para corregir estimaciones de COS
7. Establecer metodologías de escalamiento viables a partir de la información puntual para grandes áreas.

8. Desechos [6]

En esta sección se presenta la actualización de las emisiones de metano derivado de los residuos sólidos municipales, las aguas residuales municipales e industriales, así como las emisiones de óxidos de nitrógeno emitidos por las aguas residuales municipales y las emisiones de CO₂ y del óxido nitroso generados por la incineración de residuos peligrosos, para los años de 1990, 1992, 1994, 1996, 1998, 2000, 2002 y 2003.

Uno de los mayores retos del inventario ha sido el obtener información detallada de las actividades, en esta ocasión se han redoblado los esfuerzos que han rendido sus frutos pero que indican que ya no es posible rescatar más información del pasado, por lo que se recomienda que a partir de la presente década se sistematice y resguarde la información ex profeso para la realización y actualización permanente del inventario en cuestión, aunado a la necesidad de determinar y disponer de factores de emisión propios para no depender más de los factores por defecto, para lo cual se tendrán que invertir recursos humanos, materiales

y financieros, de lo contrario la próxima edición del inventario enfrentará los mismos históricos retos.

8.1. Datos de actividad

A continuación se comenta acerca de la información generada en relación a las actividades correspondientes a los residuos sólidos municipales, las aguas residuales municipales e industriales y la incineración de residuos peligrosos y hospitalarios, los cuales dan lugar a las emisiones de metano en los primeros dos casos y de CO₂ y del óxido nitroso en el tercero.

El común denominador de la información de las actividades, es que esta es generada con propósitos diferentes a los del inventario, lo que implica la necesidad de procesar la información de acuerdo a los requerimientos de la metodología. Por lo que sería recomendable que esta información fuera generada de origen de acuerdo a los requerimientos del inventario y la metodología del PICC.

8.1.1. Residuos Sólidos Municipales [6A]

La información requerida por el software de la Metodología del PICC relativa a los residuos sólidos existe parcialmente en el país. Esta se refiere a la cantidad de basura que es dispuesta en rellenos sanitarios, en tiraderos con profundidad mayor o igual a cinco metros y en tiraderos con profundidad menor a los cinco metros (tabla 8.1). Así como la composición y contenido de carbón y carbón biodegradable de los residuos, los cuales pueden ser obtenidos aplicando los valores en por ciento del contenido de papel, residuos de comida, de jardín y textiles, de los residuos y que de manera regional existen.

En el caso de los factores de emisión, no existen suficientes proyectos en el campo donde se lleven registros de emisiones de metano en los sitios de disposición de los residuos y solo existen algunos datos que han sido comparados con los valores sugeridos por la metodología del PICC, ante la falta de información.

8.1.2. Aguas Residuales [6B]

La información requerida por la Metodología del PICC se refiere a los volúmenes de aguas residuales, su carga contaminante, y las tecnologías que emplean

para su tratamiento y disposición, así como los factores de emisión de metano locales. En relación a este punto las tecnologías aplicadas en su mayoría en nuestro país, son del tipo aerobio que no dan lugar a la generación de metano.

Existe información detallada relativa a los volúmenes y contenido de contaminantes en términos de sólidos volátiles, demanda química y bioquímica de oxígeno en las principales cuencas del país. Sin embargo no está disponible totalmente, y debe complementarse la información oficial con la de los censos de población donde se registran las descargas domiciliarias en el país, en el caso de las aguas residuales municipales para poder efectuar las estimaciones de las emisiones de metano de este inventario.

Como parte de las emisiones derivadas de las aguas residuales municipales, en este inventario se efectuó el cálculo de las emisiones de los óxidos nitrosos derivados del consumo de proteína por la población en los años considerados, para lo cual se recurrió a valores de consumo de proteína de la población en los años considerados y se consideró un valor promedio de acuerdo a la Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los Hogares realizada por el INEGI publicada en el año 2000.

En el caso de las aguas residuales industriales ha existido en la pasada década y especialmente en los

TABLA 8.1 PARÁMETROS REQUERIDOS POR LA METODOLOGÍA PICC VERSIÓN 1996 PARA LA ESTIMACIÓN DE EMISIONES DE METANO DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS

PARÁMETRO	1990 ¹	1992 ²	1994 ^{2,3}	1996 ^{2,3}	1998 ^{2,3}	2000 ^{2,3}	2002 ^{2,3}	2003 ³
Cantidad de RSU (Gg/año)	21,170.0	21,967.5	29,472.4	31,959.4	30,550.5	30,733.0	32,173.6	32,915.7
Fracción de RSU Controlado	0.110	0.211	0.171	0.268	0.519	0.471	0.484	0.529
Fracción de RSU No Controlado >5m	0.110	0.123	0.098	0.081	0.033	0.079	0.113	0.113
Fracción de RSU No Controlado <5m	0.780	0.641	0.706	0.626	0.423	0.426	0.378	0.333
Factor MCF ⁴	0.510	0.570	0.530	0.580	0.710	0.700	0.730	0.750
Factor COD o DQO	0.140	0.141	0.140	0.140	0.140	0.140	0.140	0.141

¹Fuente: Secretaría de Desarrollo Social, México D.F., "Históricos y Tendencias de Residuos Sólidos Municipales", Los valores de 0.445 corresponden a la falta de información, por lo que se tomaron valores iguales de la diferencia entre el 100% y el 11% reportado en esta referencia.

²Fuente: Segundo Informe de Gobierno, 2002, Anexo, México D.F.

³Fuente: Secretaría de Desarrollo Social, Dirección General de Equipamiento e Infraestructura en Zonas Urbano-Marginadas".

⁴Fué calculado este valor con el Software del IPCC, Worksheet 6-1C.

últimos años de la presente, un impulso sin precedente para el tratamiento de las aguas residuales de esta naturaleza, duplicándose el número de plantas de tratamiento, sin embargo su eficiencia no es la requerida y el organismo oficial responsable revela que el 70% de estas plantas no cumplen con las condiciones particulares de descarga que se les ha impuesto.

De tal manera que en nuestro país se trata aproximadamente el 23.5% de las aguas residuales municipales y menos del 15% de las aguas residuales industriales.

8.1.3. Incineración de Residuos Peligrosos y Hospitalarios [6C]

La información requerida de esta actividad por las Directrices del PICC, se refiere a la cantidad de residuos que son incinerados, a la tecnología que emplean como hornos rotatorios o lechos fluidizados, al tipo de residuo, como residuos sólidos municipales, residuos hospitalarios, residuos peligrosos o lodos residuales de plantas de tratamiento de aguas residuales, el contenido de carbón total y carbón fósil de los residuos. Lo mismo ocurre con los factores de emisión resultantes de la incineración de estos residuos, en donde en función de los parámetros anteriores varían y se recomienda que sean medidos los gases de combustión y su contenido de bióxidos de carbono y óxido nitroso para mayor confiabilidad de los mismos factores resultantes.

En México los residuos que son incinerados son los del tipo peligroso y hospitalarios, y su aplicación y control data del año de 1993 a la fecha. Iniciando con los incineradores de las empresas farmacéuticas y creciendo exponencialmente hasta alcanzar una estabilidad en su capacidad de tratamiento en los últimos años de acuerdo a la información disponible en la materia. Sin embargo no existe información consistente relativa a los gases de combustión emitidos, como su volumen y composición, especialmente en bióxido de carbono y óxido nitroso, y por lo tanto no existen datos de factores de emisión de los mismos por lo que se tienen que obtener indirectamente y/o aplicar valores por defecto como sucedió en este inventario.

8.2. Metodología

Para efectuar el inventario de las emisiones en cuestión, se empleó la metodología del PICC, de acuerdo al árbol de decisiones de cada caso. Siendo ésta metodología la del software del PICC. En función tanto de la información de las actividades y la existencia de los factores de emisión locales, correspondiendo en el primer caso a la información existente en el país y en el segundo a los valores por defecto para los factores de emisión considerados.

Como regla general el procedimiento seguido para estimar las emisiones de metano de los residuos, para los años considerados de 1990, 1992, 1994, 1996, 1998, 2000, 2002 y 2003 consta de los siguientes pasos:

1. Aplicar el *árbol de decisiones* correspondiente, para definir el método a seguir para la estimación de las emisiones.
2. Revisar y establecer los parámetros requeridos por la metodología resultante en el punto anterior.
3. Ordenar, clasificar y procesar la información requerida por la metodología seleccionada.
4. Aplicar las metodologías y obtener los resultados para cada caso.
5. Determinar la incertidumbre de los resultados obtenidos, discutir y analizar los mismos, y emitir las conclusiones y observaciones conducentes.

La metodología resultante de acuerdo a los rellenos sanitarios de este procedimiento, es la metodología por defecto del PICC empleando el software de la misma, la cual se describe para cada caso en el Anexo B de este documento.

En lo que respecta a las aguas residuales, los parámetros requeridos por la metodología son muy similares para las diferentes actividades, encontrando diferencias en aspectos relacionados con el procesamiento de la información de cada actividad. En el Anexo B se describen los pasos seguidos para su estimación.

Para determinar las emisiones de los dióxidos de carbono y nitrógeno se aplicó el mismo procedimiento, con la variante de que la metodología aplicada

está en función de los factores de emisión empleados. Considerando a los residuos en su totalidad, como residuos peligrosos, en virtud de la carencia de información local al respecto.

8.3. Incertidumbres

Para estimar la incertidumbre asociada a las emisiones en cuestión, en este sector se consideraron para cada fuente, las incertidumbres sugeridas por el Manual de las Buenas Prácticas y Manejo de la Incertidumbre del PICC. Tanto para la información de las diferentes actividades (*activity data*), como de los valores por defecto empleados para efectuar el inventario de los factores de emisión (*emission factors*).

En el caso de las emisiones resultantes de la incineración de residuos, la Guía de las Buenas Prácticas y Manejo de la Incertidumbre no propone valores específicos en el caso de las emisiones de CO₂, por lo que no se estimaron para este inventario. Y para las emisiones de N₂O de la misma actividad, la Guía propone una incertidumbre del 100%, cuando se emplean factores de emisión por defecto como sucedió en este caso.

En términos generales de acuerdo con la Metodología, la aportación a la incertidumbre es de 2/3 debida a los factores de emisión, y la otra 1/3 parte a la información de la actividad.

Para evaluar las incertidumbres en este inventario se aplicaron los principios citados en el Anexo 1 del Managing Uncertainties de la Guía de las Buenas Prácticas y Manejo de la Incertidumbre, donde se establece que la incertidumbre total es igual a la raíz

cuadrada de la suma de los cuadrados de las incertidumbres individuales. Por lo que se calcularon de acuerdo a la siguiente expresión general:

Ecuación B-1:

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

Donde:

UT = Incertidumbre total.

UE = Incertidumbre debida a factores de emisión.

UA = Incertidumbre debida a la información de la actividad.

En la tabla 8.3 se presenta el análisis de las incertidumbres correspondientes a las emisiones reportadas en este inventario. Posteriormente se presentan y resumen los valores de incertidumbre empleados y sugeridos por la metodología del PICC.

Se presentan en el anexo B del informe de Arvizu, J.L las Tablas de Cálculo de la incertidumbre de acuerdo a la Guía de las Buenas Prácticas y la Gestión de la Incertidumbre para la categoría de desechos.

Los resultados de las hojas de cálculo para los diferentes años muestran una tendencia a disminuir en el caso de los valores de Incertidumbre combinada como % de emisiones nacionales en el año t, partiendo de un valor de 27.22 para 1990 a otro de 17.26 para el año 2003, en tanto que la Incertidumbre introducida en la tendencia en las emisiones nacionales totales tiene un valor de 51.30 para el año de 1990 y aumenta paulatinamente a un valor de 55.63 para el año de 2003.

TABLA 8.2 VALORES DE INCERTIDUMBRE ESTIMADOS PARA LAS EMISIONES DE METANO DE RESIDUOS SÓLIDOS Y AGUAS RESIDUALES (%)

RESIDUO	1990	1992	1994	1996	1998	2000	2002	2003
Incetidumbre combinada como % del total de emisiones nacionales en el año t	27.2218	25.0985	22.4202	20.7368	18.7498	19.0684	17.8931	17.2633
Incetidumbre introducida en la tendencia en las emisiones nacionales totales	51.3013	51.4684	51.9423	52.8312	54.2351	54.1108	54.2991	55.6340

TABLA 8.3 VALORES DE INCERTIDUMBRE PROPUESTAS POR LA GUÍA DE LAS BUENAS PRÁCTICAS Y MANEJO DE LA INCERTIDUMBRE DE LA METODOLOGÍA 1996 DEL PICC

PARÁMETRO	RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES	AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES	AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES
Cantidad Residuos	> ± 10% Buena Inf. < 100% Mala Inf.		
Producción Industrial			± 25%
Población	± 5%	± 5%	
DBO/habitante		± 30%	
Potencial Máx. Producción CH ₄ (Bo)		± 30%	± 30%
M ³ /ton Producto			
DQO/m ³ Producto			100%, - 50%
Carbono Orgánico Degradable (COD)	- 50%, + 20%		
Carbón Orgánico Convertido a CH ₄ (COD _F)	- 30%		
Factor de Corrección de CH ₄ (FCM) = 1	- 10%		
=0.4	± 30%		
=0.6	- 50%, + 60%		
Fracción de CH ₄ en el Gas (F)	+ 20%		
Degradación Natural		±50%	±50%
Fracción Tratado Anaerobiamente		±25%	

La incertidumbre para los residuos sólidos municipales fueron del 10.4% para el año base de 1990 con tendencia a disminuir al año 2003 con un valor de 7.9%, en tanto que para las aguas residuales municipales a lo largo del período se mantienen constantes con un valor de 32.5%, en tanto que la incertidumbre para el inventario de las emisiones de las aguas residuales industriales fue de 51.3%. Con la cual gracias a la mejor calidad de la información de las actividades fue posible reducir esta incertidumbre del inventario de emisiones de metano de las fuentes citadas.

8.4. Resultados

Las emisiones de metano en cuestión en el período considerado de 1990-2003, tuvieron un crecimiento en un factor de 2 en el caso de los residuos sólidos, de 0.3 en el caso de las aguas residuales municipales y de 3 en el de las aguas residuales industriales. Esto dio por resultado que se tuvieran emisiones totales de 1,512.9Gg CH₄ en 1990 y de 3,199.6 Gg CH₄ en el año 2003. En 1990 los residuos sólidos contribuyeron con

51.3%, las aguas residuales municipales con 29.4% y las aguas residuales industriales con 19.3%, e tanto que en el año 2003 los residuos sólidos contribuyeron con 55.4%, las aguas residuales municipales con 16.7% y las aguas residuales industriales con un 27.9%.

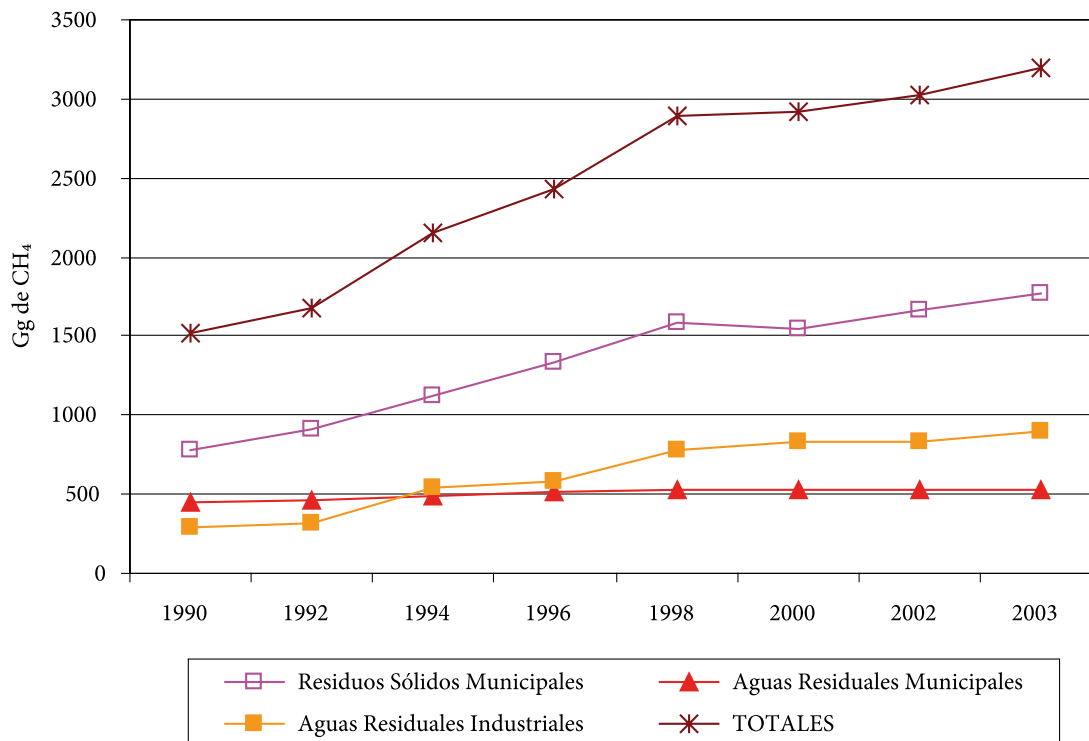
Las emisiones de metano resultantes para cada año y residuo, se presentan en el Anexo A de este documento y se resumen en la tabla 8.4 y figura 8.1 siguientes.

Las emisiones de óxido nitroso derivados de las aguas residuales municipales para los años considerados fueron de 5.11, 5.35, 5.6, 5.81, 5.96, 6.13, 6.29, y 6.36 Gg de N₂O / año respectivamente. Se calcularon con el Software del PICC usando valores por defecto para las columnas C y D, y valores locales para la columna B correspondiente a la población y un valor por defecto de 25 kg de proteína /persona/año para la columna A de la hoja de cálculo 6-4 (Worksheet 6-4) de acuerdo a la referencia¹⁴ "La alimentación en México, Un estudio a partir de la encuesta nacional de ingresos y gastos de los hogares y de las hojas de balance alimenticio de la FAO".

TABLA 8.4 EMISIONES DE METANO GENERADAS POR RESIDUOS (Gg CH₄/AÑO)

RESIDUO	1990	1992	1994	1996	1998	2000	2002	2003
Residuos								
Sólidos Municipales	775.9	906.3	1,122.6	1,332.5	1,580.8	1,546.1	1,664.8	1,772.6
Aguas Residuales Municipales	446.0	459.7	482.5	513.2	530.9	531.1	525.5	533.9
Aguas Residuales Industriales	291.0	313.7	543.6	587.4	780.0	837.8	834.8	893.1
TOTALES	1,512.9	1,679.7	2,148.7	2,432.8	2,891.7	2,915.0	3,025.1	3,199.6

FIGURA 8.1 EMISIONES DE CH₄ DE DESECHOS PARA LOS AÑOS DE 1990, 1992, 1994, 1996, 1998, 2000 Y 2002



En el caso de la incineración de residuos peligrosos, las emisiones del CO₂ para 1994 fueron de 3.4 y de 139.2 Gg para el año 2003. Esta actividad es relativamente nueva, donde las empresas que prestan este servicio aparecen y desaparecen continuamente, no obstante en los últimos años, se ha estabilizado. En el caso de los óxido nitroso para 1994 las emisiones fueron de 0.0005 Gg N₂O y para el año 2003 de 0.0203 Gg de N₂O.

Las emisiones de bióxidos de carbono y óxido nitroso resultantes de la incineración de los residuos peligrosos y hospitalarios, se presentan en la tabla 8.5.

8.5. Discusión de resultados

8.5.1. Residuos sólidos municipales

Como puede observarse y constarse en la tabla 8.4, las emisiones correspondientes a los residuos sólidos municipales se duplicaron del año 1990 al 2003, como resultado del incremento en el país de la disposición de los residuos en rellenos sanitarios.

En el último año 2003, se toma en cuenta la recuperación de las emisiones derivadas del relleno sanitario

TABLA 8.5 EMISIONES DE CO₂ Y N₂O RESULTANTES DE LA INCINERACIÓN DE RESIDUOS PELIGROSOS Y HOSPITALARIOS (Gg/AÑO)

AÑO	EMISIONES DE CO ₂	EMISIONES DE N ₂ O
1990	3.400	0.0005
1992	3.400	0.0005
1994	3.400	0.0005
1996	5.753	0.0014
1998	77.417	0.0113
2000	102.116	0.0161
2002	101.996	0.0149
2003	139.155	0.0203

NOTA: Por sugerencia de los revisores se incluyó para 1990 y 1992

El mismo valor para las emisiones de 1994 para mantener la consistencia del inventario.

de Salinas Victoria ubicado en la zona conurbana de la Ciudad de Monterrey, las cuales son empleadas como combustible para la operación de la primera planta de generación de electricidad en nuestro país. Ejemplo que puede ser replicado en otros rellenos, aprovechando la entrada en vigor del Protocolo de Kioto y el desarrollo de proyectos MDL teniendo como instrumento el mercado de Bonos de Carbono como medida de mitigación de estas emisiones y su impacto en el calentamiento y el cambio climático global.

Para obtener los resultados presentados se dispuso de información de la actividad con mayor detalle, que permitió definir la cantidad de residuos depositados en rellenos sanitarios, sitios controlados y sitios no controlados, que determinan los factores de emisión específicos para cada caso y que en ocasiones anteriores fueron considerados como rellenos sanitarios y el resto.

Parece imposible disponer de una base de datos con mayor detalle de los sitios controlados, no controlados y sus profundidades, así como sus edades y extensiones, lo que permitiría emplear una ecuación de Primer Orden que permitiría reducir la incertidumbre de los resultados y alcanzar el nivel TIER 2 de la metodología del PICC. Por lo que los resultados obtenidos en este inventario son los mejores de acuerdo a la información disponible y el uso de factores de emisión por defecto.

8.5.2. Aguas residuales municipales

Las emisiones de metano derivadas de las aguas residuales municipales resumidas en la misma tabla 8.4, se incrementan en el período considerado a una tasa promedio anual del 2%. El tratamiento de aguas residuales en nuestro país en su mayoría es de tecnologías de tipo aerobio que no producen metano. La aportación de metano en este rubro está determinado por los sistemas de tratamiento como los tanques Inhoff, Lagunas de Estabilización, Fosas Sépticas y aguas no tratadas y dispuestas en cuerpos de agua naturales.

La información de la actividad se obtuvo de los censos 1990 y 2000, y del conteo de población y vivienda 1995, en lo referente a las encuestas de manejo y destino de las aguas residuales en los domicilios del país. Así como de los anuarios estadísticos de la Comisión Nacional del Agua (CNA), que reporta la cantidad de agua tratada y las tecnologías que se emplean. Esta información fue procesada para elaborar para cada año considerado, los balance de aguas residuales del país correspondientes. Nuevamente la información consultada no es consistente, ni generada para los propósitos del inventario, por lo que sería ideal que tanto el INEGI como la CNA generaran ésta información para la elaboración directa del inventario a partir de la presente década.

Por primera vez se determinó con la misma metodología y software del PICC, las emisiones de óxido nitroso derivadas de las aguas residuales municipales, empleando factores de emisión por defecto e información local de la actividad.

8.5.3. Aguas residuales industriales

En el caso de las emisiones de metano derivadas de las aguas residuales industriales se contó con información por sector o actividad industrial, lo que permitió reducir la incertidumbre de los resultados. Estos resultados también se resumen en la tabla 8.4 y como puede observarse se incrementaron en el período considerado de 1990 a 2003 en un factor de 3, como resultado de una intensa actividad industrial y una cada vez mayor vigilancia del cumplimiento del tratamiento de las aguas residuales de la industria nacional

En 1990 se trataban 10 m³/s de aguas residuales industriales y en el año 2003 ascendió ese parámetro a 27.4 m³/s. El número de plantas de tratamiento fue de 282 para 1990 y 1,597 plantas para el año 2003. En 1996 sólo el 34% de las plantas cumplieron con las condiciones particulares de descarga y en el año 2003 se incrementó a 56.8%. Existen pocas plantas de tratamiento que utilicen tratamientos anaerobios, y estas están construidas en el sector de jugos enlatados y cervecerías. En la presente década además de las empresas cerveceras se consideró en el inventario correspondiente, el metano recuperado y destruido por una empresa que trata sus aguas residuales por medios anaeróbios y produce metano para la generación de electricidad y calor de proceso.

Del mismo modo la información de la actividad no es generada por la CNA para los propósitos del inventario, y tiene que ser procesada para aplicar la metodología y obtener los resultados en cuestión. Por lo que sería idóneo que la CNA generara esta información a partir de la presente década para la elaboración directa del inventario.

8.5.4. Incineración de residuos peligrosos

Los dióxidos de carbono y nitrógeno presentados en la tabla 8.5, muestran que para los años de 1990 y 1992 no existen datos como resultado de que esta actividad es relativamente reciente y que posteriormente entró en una etapa de crecimiento hasta el año 2000, a partir del cual se encuentra en una etapa aparentemente estable, donde han surgido y desaparecido empresas dedicadas a esta actividad regulada por la SEMARNAT. Por sugerencia de los revisores se incluyó para 1990 y 1992. El mismo valor para las emisiones de 1994 para mantener la consistencia del inventario.

Sería ideal que como parte de este control por parte de las autoridades respectivas, se incluya la información requerida para llevar un control preciso de estas emisiones, tal como la cuantificación y calificación del contenido de los dióxidos citados, para disponer de factores de emisión reales para la elaboración de futuros inventarios.

En esta parte del inventario también se empleó información local de la actividad y factores de emisión propuestos por la Guía de las Buenas Prácticas y Manejo de la Incertidumbre.

La contribución de estos gases al inventario total no es significativa, pero localmente puede tener impactos importantes, sobre todo los óxidos nitrosos.

3.6. Comparación de las emisiones de RSU con otros estimados.

La Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL) estimó las emisiones provenientes de residuos sólidos municipales empleado el Modelo Mexicano de Emisiones de Metano en Rellenos Sanitarios obteniendo resultados para los años de 1992, 1994, 1996, 1998, 2000, 2002 y 2003 de 911, 970, 1062, 1489, 2114, 2322, y 2398 Gg de CH₄/año, estos valores y los reportados por este inventario son congruentes, considerando las diferentes metodologías empleadas y la incertidumbre considerada. Este ejercicio refuerza los resultados de este inventario.

3.7. Conclusiones y recomendaciones

Las emisiones de metano derivadas de los residuos sólidos municipales, las aguas residuales municipales e industriales en el período considerado de 1990 a 2003, tuvieron un crecimiento en un factor de 2 en el caso de los residuos sólidos, de 0.3 en el caso de las aguas residuales municipales y de 3 en el de las aguas residuales industriales.

Esto dio por resultado que se tuvieran emisiones totales de 1,512.9 Gg CH₄ en 1990 a 3,199.6 Gg CH₄ en el año 2003. En 1990 los residuos sólidos contribuyeron con 51.3%, las aguas residuales municipales con 29.4% y las aguas residuales industriales con 19.3%, e tanto que en el año 2003 los residuos sólidos contribuyeron con 55.4%, las aguas residuales municipales con 16.7% y las aguas residuales industriales con un 27.9%.

El apoyo del INE en la gestión para la obtención de la información requerida por la metodología para realizar el inventario, permitió obtener información con mayor definición, que a su vez dio como resultado que

las emisiones determinadas para los años 1994, 1996 y 1998 en el inventario anterior, no coincidan con los obtenidos en este nuevo inventario, donde se calcularon de nuevo estas emisiones.

No obstante los valores de referencia están dentro del mismo orden de magnitud y tendencia. Cumpliendo con esto uno de los objetivos de este inventario consistente en reducir la incertidumbre de las emisiones de metano en este sector de desechos. El análisis global del inventario con los otros sectores permitirá observar que las emisiones de metano derivadas del sector desechos, mantienen su importancia en magnitud, y la imperiosa necesidad de proponer y practicar medidas de mitigación de las mismas en el corto plazo.

Por primera ocasión se determinaron en este inventario las emisiones derivadas de las propias aguas residuales municipales de óxido nitroso, las cuales son del orden de 5.11 a 6.36 Gg de N_2O para 1990 y 2003 respectivamente.

En lo referente a las emisiones de dióxidos de carbono y nitrógeno estimadas por la incineración de residuos peligrosos para este inventario, en el caso del CO_2 para 1994 las emisiones fueron de 3.400 y de 139.155 en el año 2003, siendo esta actividad nueva donde las empresas que prestan este servicio aparecen y desaparecen y en los últimos años de la actual década parece estabilizarse. En el caso de los óxido nitroso para 1994 tuvo valores de 0.0005 Gg N_2O y para el año 2003 de 0.0203 Gg de N_2O .

Uno de los mayores retos del inventario ha sido el obtener información detallada de las actividades, en esta ocasión se han redoblado esfuerzos que han rendido sus frutos pero que indican que ya no es posible rescatar más información del pasado, por lo que se recomienda que a partir de la presente década se sistematice y resguarde la información ex profeso para la realización y actualización permanente del inventario en cuestión, para lo cual se tendrán que invertir recursos humanos, materiales y financieros de lo contrario la próxima edición del inventario enfrentará los mismos retos aunado a la necesidad de determinar y disponer de factores de emisión propios para no depender más de los factores por defecto.

Las incertidumbres correspondientes a las emisiones resultantes de la incineración de residuos, no fue estimada en el caso del CO_2 por no existir valores locales de los elementos que las definen, y no existir valores propuestos sugeridos por la Metodología del PICC como sucede con las emisiones de metano y que fueron las usadas en este caso. En lo que respecta a las emisiones de N_2O , la incertidumbre sugerida por la metodología es del 100%, y puede considerarse igual para este inventario.

Para disponer de los elementos locales necesarios para determinar las incertidumbres locales, resulta indispensable validar la información de las actividades en campo, y establecer un programa experimental y operacional para determinar los factores de emisión de cada caso, para lo cual se requieren evidentemente recursos económicos importantes.

9. Referencias

Manuales y Estudios consultados

- IPCC. "Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories". This report was accepted by the IPCC Plenary at its 16th session held in Montreal from 1-8 of May (2000).
- IPCC; "Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories"; Reporting Instructions (Volume 1).
- IPCC; "Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories"; Workbook (Volume 2).
- IPCC; "Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories"; Reference Manual (Volume 3).
- IPCC; "Revised 2003 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories"; Reporting Instructions.
- IPCC; 1996 "Software for Workbook".
- UNFCCC 2004 Informe sobre Cambio Climático: manual del usuario para las directrices sobre comunicaciones nacionales de las Partes no-Anexo I de la CMNUCC.
- Arvizu, J.L. 2005. Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (INEGEI) 2002, Desechos. Instituto de Investigaciones Eléctricas. Estudio elaborado para el Instituto Nacional de Ecología; 15 de diciembre, 2005. 116. pp.
- Cuatencontzi, D.H. 2005. Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (INEGEI) 2002, Emisiones Fugitivas de Metano. Estudio elaborado para el Instituto Nacional de Ecología; 14 de diciembre, 2005. 63 pp.
- Longoria, R. 2005. Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (INEGEI) 2002, Procesos Industriales y Solventes. Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico. Estudio elaborado para el Instituto Nacional de Ecología; 19 de diciembre 2005. 97 pp.
- Mar, E. 2005. Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (INEGEI) 2002, Transporte. INE-Instituto Mexicano del Petróleo. Estudio elaborado para el Instituto Nacional de Ecología; 14 de dic. 2005. 100 pp.

- Ordóñez, A. y T. Hernández. 2005. Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (INEGEI) 2002, Agricultura. INE-CIECO/UNAM-INIFAP/SAGARPA. Estudio elaborado para el Instituto Nacional de Ecología; 15 de diciembre 2005. 118. pp.
- Robles, G. 2005. Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (INEGEI) 2002, Fuentes Fijas y de Área. Instituto de Ingeniería de la UNAM. Estudio elaborado para el Instituto Nacional de Ecología; 14 de diciembre 2005. 106 pp.
- Arredondo, J. C. y L. Sánchez. 2005. Informe de actividades para la mejora del Inventario de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero a la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (USEPA) a través de la Fundación México Estados Unidos para la Ciencia (FUMEC). Estudio elaborado para el Instituto Nacional de Ecología; 2005.
- Cuatlencontzi, D.H. 2006. Revisión de la actualización 2002 del Inventario de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero y Precursores del Ozono del Sector de la Energía. Estudio elaborado para el Instituto Nacional de Ecología; 16 de mayo, 2006. 142 pp.
- De Jong, B. y O. Masera, J. Etchevers, R. Martínez. 2006 Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (INEGEI) 2002, Uso de Suelo, Cambio de Uso del Suelo y Silvicultura. INE-ECOSUR/CIECO/COLPOS. Estudio elaborado para el Instituto Nacional de Ecología; 14 de septiembre 2006. 127 pp.
- Baumert, K. and T. Herzog, J. Pershing 2005, Navigating the Numbers: Greenhouse Gas Data and International Climate Policy, World Resource Institute. 132 pp.

Apéndice A
Tabla de emisiones de gases de efecto
invernadero de 1990-2002

CATEGORÍA DE EMISIÓN	año	1992												
		gas GEI Categoría	Emisiones de CO ₂		Absorciones de CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO	NO _x	COVDM	SO ₂	HFCs		PFCs
												P	A	
			319,690,473	0,000	5,136,272	31,760	9,366,557	1,286,236	1,574,162	2,501,492	0,031			
Energía			267,518,312		1,575,525	3,973	9,290,524	1,283,332	999,945	2,419,751				
Consumo de Combustibles fósiles	1A		267,173,418		1,25,740	3,973	9,284,576	1,279,615	960,544	2,360,278				
Industria generadora de energía	1A1		106,023,510		0,962	0,465	23,658	341,613	7,571	1,582,039				
Manufactura e industria de la construcción	1A2		56,598,105		3,720	0,552	322,759	115,251	9,069	525,483				
Transporte	1A3		94,506,903		45,461	1,743	7,667,587	678,784	784,792	172,480				
Otros sectores	1A4		30,044,900		75,596	1,213	1,270,572	143,966	159,112	80,275				
Emisiones fugitivas de combustibles	1B		344,894		1,449,785		5,947	3,717	39,401	59,473				
Combustibles sólidos	1B1				49,351									
Petróleo y gas natural	1B2		344,894		1,400,434		5,947	3,717	39,401	59,473				
Procesos Industriales			32,168,761		4,680	1,000	43,840	3,933	447,117	81,741	0,031	0		
Productos minerales	2A		17,352,302				0,002	0,000	322,473	8,187				
Industria química	2B		4,016,700		4,680	1,000	21,998	2,226	36,500	61,520				
Producción de metales	2C		10,799,759				18,080	0,359	0,444	7,334				
Otros procesos industriales	2D		0,000				3,760	1,348	87,700	4,700				
Producción de halocarbonos y hexafluoruro de azufre	2E													
Consumo de halocarbonos y hexafluoruro de azufre	2F													
Otros	2G											0,031		
Scvientes y uso de otros productos			0,000		0,000	0,000	0,000		127,100					
Aplicación de pinturas	3A								55,200					
Tintorerías	3B													
Manufactura y procesamiento de productos químicos	3C													
Otros	3D								71,900					
Agricultura			1,876,353		1,876,353	21,459	34,193	0,971						
Fermentación entrérica	4A		1,807,013											
Manejo de estiércol	4B		53,679		53,679	0,019								
Cultivo de arroz	4C		14,032											
Suelos agrícolas	4D				21,393									
Quemas programadas de suelos	4E													
Quemas insitu de residuos agrícolas	4F				1,628	0,027	34,193	0,971						
Otros	4G													
Cambio de uso de suelo y silvicultura														
Cambios en existencia (inventario) de bosques y otra biomasa leñosa	5													
biomasa leñosa	5A													
Cambio de uso de suelo	5B													
Captura por abandono de tierras	5C													
Emisiones y captura de CO ₂ del suelo	5D													
Otros	5E													
Residuos			3,400		1,679,714	5,349								
Disposición de residuos sólidos en suelo	6A		906,284											
Manejo y tratamiento de aguas residuales	6B		773,430		773,430	5,348								
Incineración de residuos	6C		3,400			0,001								
Otros	6D													
Otras fuentes de emisiones														
Bunkers			1,178,362		0,841	0,031	13,243	5,207	8,243	0,647				
Aviación internacional	1A3ai		1,117,966		0,837	0,031	12,422	3,976	8,079	0,211				
Navegación internacional	1A3di		60,396		0,004	0,000	0,821	1,231	0,164	0,436				
Emisiones de CO₂ por quema de biomasa			34,621,220											

CATEGORIA	año	1994													
		Emisiones de CO ₂		Absorciones de CO ₂		CH ₄	N ₂ O	CO	NO _x	COVDM	SO ₂	HFCs		PFCs	
		gas GEI	Categoría	CO ₂	CO ₂							P	A	P	A
		TOTAL de emisiones nacionales (Gg)													
Energía				0.000	5,723.527	32.426	9,156.133	1,357.233	1,747.699	2,750.202	0.357				0.095
Consumo de Combustibles fósiles	1		305,152.361		1,727.612	4.734	9,090.818	1,353.481	999.340	2,678.642					
Industria generadora de energía	1A		304,807.467		126.520	4.734	9,084.322	1,349.546	957.630	2,615.683					
Manufactura e industria de la construcción	1A2		120,900.989		1.083	0.573	26.458	391.735	8.542	1,886.620					
Transporte	1A3		51,298.339		3.557	0.532	299.745	110.558	8.407	536.052					
Otros sectores	1A4		101,258.815		44.916	2.383	7,472.521	704.489	779.917	115.088					
Emisiones fugitivas de combustibles	1B		31,349.325		76.965	1.245	1,285.598	142.765	160.765	77.924					
Combustibles sólidos	1B1		344.894		1,601.092		6.296	3.935	41.710	62.959					
Petróleo y gas natural	1B2		344.894		1,535.199		6.296	3.935	41.710	62.959					
Procesos Industriales	2		38,001.768		4.400	0.140	32.236	2.807	566.959	71.560	0.357				0.095
Productos minerales	2A		19,885.385				0.002	0.000	427.574	9.456					
Industria química	2B		3,701.850		4.400	0.140	20.344	0.334	34.520	46.254					
Producción de metales	2C		14,414.533				4.840	0.313	0.455	7.160					0.095
Otros procesos industriales	2D		0.000				6.950	2.160	104.410	8.690					
Producción de halocarbonos y hexafluoruro de azufre	2E														
Consumo de halocarbonos y hexafluoruro de azufre	2F														
Otros	2G														
Scierventes y uso de otros productos	3														
Aplicación de pinturas	3A								181.400						
Tintorerías	3B								75.100						
Manufactura y procesamiento de productos químicos	3C														
Otros	3D								106.300						
Agricultura	4														
Fermentación entrérica	4A						1,842.799	21.952	33.279	0.945					
Manejo de estiércol	4B						1,774.051								
Cultivo de arroz	4C						55.373	0.020							
Suelos agrícolas	4D						11,789								
Quemas programadas de suelos	4E						21,906								
Quemas in situ de residuos agrícolas	4F						1,585	0.026	33.279	0.945					
Otros	4G														
Cambio de uso de suelo y silvicultura	5														
Cambios en existencia (inventario) de bosques y otra biomasa leñosa	5A														
Cambio de uso de suelo	5B														
Captura por abandono de tierras	5C														
Emisiones y captura de CO ₂ del suelo	5D														
Otros	5E														
Residuos	6		3,400				2,148.716	5.601							
Disposición de residuos sólidos en suelo	6A						1,122.584								
Manejo y tratamiento de aguas residuales	6B						1,026.132	5.600							
Incineración de residuos	6C		3,400				0.001								
Otros	6D														
Otras fuentes de emisiones	7														
Bunkers			1,404.395				0.959	0.035	16.151	7.559	9.563				0.559
Aviación internacional	1A3ai		1,250.503				0.949	0.034	14.055	4.416	9.144				0.241
Navegación internacional	1A3bi		153.892				0.010	0.001	2.096	3.143	0.419				0.318
Emisiones de CO₂ por quema de biomasa			34,443.066												

CATEGORÍA DE EMISIÓN	año	1996										
		gas GEI Categoría	Emisiones de CO ₂	Absorciones de CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO	NO _x (Gg)	COVDM	HFCs		PF ₆
										P	A	
TOTAL de emisiones nacionales		347,414,034	0,000	6,109,946	36,484	8,723,409	1,350,133	1,516,207	2,612,574	1,140		
Energía		307,888,568		1,903,053	5,090	8,619,686	1,338,863	952,112	2,525,556			
Consumo de Combustibles fósiles	1A	306,988,012		125,297	5,090	8,613,758	1,335,158	912,839	2,466,276			
Industria generadora de energía	1A1	120,131,701		1,020	0,614	26,297	401,206	8,512	1,773,640			
Manufactura e industria de la construcción	1A2	56,709,922		3,999	0,607	345,355	121,975	9,600	549,730			
Transporte	1A3	97,502,320		42,138	2,598	6,932,432	659,530	730,502	65,441			
Otros sectores	1A4	32,644,069		78,139	1,270	1,309,674	152,446	164,225	77,465			
Emisiones fugitivas de combustibles	1B	900,556		1,777,756		5,928	3,705	39,273	59,280			
Combustibles sólidos	1B1			76,388								
Petróleo y gas natural	1B2	900,556		1,701,368		5,928	3,705	39,273	59,280			
Procesos Industriales		39,519,713		4,790	3,260	67,360	10,238	383,795	87,016	1,140		
Productos minerales	2A	19,824,549				0,002	0,000	248,461	8,415			
Industria química	2B	3,749,550		4,790	3,260	20,778	7,143	36,790	59,335			
Producción de metales	2C	15,945,614				38,850	0,529	0,564	9,598			
Otros procesos industriales	2D					7,730	2,566	97,980	9,670			
Producción de halocarbonos y hexafluoruro de azufre	2E											
Consumo de halocarbonos y hexafluoruro de azufre	2F											
Otros	2G									1,140		
Solventes y uso de otros productos		3										
Aplicación de pinturas	3A								180,300			
Tintorerías	3B								67,800			
Manufactura y procesamiento de productos químicos	3C											
Otros	3D								112,500			
Agricultura		1,769,314		22,326	36,362	1,033						
Fermentación entrérica	4A			1,702,50								
Manejo de estiércol	4B			53,546	0,019							
Cultivo de arroz	4C			11,538								
Suelos agrícolas	4D				22,278							
Quemas programadas de suelos	4E											
Quemas in situ de residuos agrícolas	4F			1,732	0,029	36,362	1,033					
Otros	4G											
Cambio de uso de tierra y otros usos de la tierra		5										
biomasa leñosa	5A											
Cambio de uso de suelo	5B											
Captura por abandono de tierras	5C											
Emisiones y captura de CO ₂ del suelo	5D											
Otros	5E											
Residuos		5,753		2,432,789	5,808							
Disposición de residuos sólidos en suelo	6A			1,332,153								
Manejo y tratamiento de aguas residuales	6B			1,100,636	5,807							
Incineración de residuos	6C	5,753			0,001							
Otros	6D											
Otros fuentes de emisiones		7										
Bunkers		1,422,892		0,981	0,038	15,575	6,415	9,659	0,405			
Aviación internacional	1A3ai	1,347,371		0,976	0,037	14,547	4,873	9,453	0,255			
Navegación internacional	1A3di	75,521		0,005	0,001	1,028	1,542	0,206	0,150			
Emisiones de CO₂ por quema de biomasa		36,032,859										

CATEGORÍA DE EMISIÓN	año	1998											
		gas GEI	Emisiones de CO ₂	Absorciones de CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO	NO _x	COVDM	SO ₂	HFC's	P	P
	Categoría		(Gg)										
TOTAL de emisiones nacionales			393,326.873	0.000	6,753.240	38,419	8,493.662	1,480.079	1,564.972	2,985.017	2,041		
Energía	1	349,233,016			2,047,839	6,101	8,391,403	1,470,487	947,062	2,885,700			
Consumo de Combustibles fósiles	1A	347,221,135			126,086	6,101	8,385,285	1,466,683	906,530	2,824,519			
Industria generadora de energía	1A1	149,358,158			1,228	0,707	33,696	503,748	10,747	2,122,137			
Manufactura e industria de la construcción	1A2	59,156,922			4,424	0,667	389,321	128,901	10,406	566,599			
Transporte	1A3	104,800,603			41,170	3,431	6,632,141	674,659	718,268	51,309			
Otros sectores	1A4	33,905,452			79,264	1,294	1,330,127	159,356	167,067	84,474			
Emisiones fugitivas de combustibles	1B	2,011,881			1,921,753		6,118	3,824	40,533	61,181			
Combustibles sólidos	1B1				69,925								
Petróleo y gas natural	1B2	2,011,881			1,851,828		6,118	3,824	40,533	61,181			
Procesos Industriales	2	44,016,440			4,700	2,290	63,570	8,494	407,610	99,317	2,041		
Productos minerales	2A	23,360,353					0,002	0,000	264,848	9,219			
Industria química	2B	2,791,990			4,700	2,290	15,598	5,038	36,000	69,274			
Producción de metales	2C	17,864,097					39,490	0,568	0,612	10,234			
Otros procesos industriales	2D						8,480	2,888	106,150	10,590			
Producción de halocarbonos y hexafluoruro de azufre	2E												
Consumo de halocarbonos y hexafluoruro de azufre	2F												
Otros	2G											2,041	
Solventes y uso de otros productos	3								210,300				
Aplicación de pinturas	3A								60,500				
Tenclerías	3B												
Manufactura y procesamiento de productos químicos	3C												
Otros	3D								129,800				
Agricultura	4				1,808,966	24,054	38,690	1,099					
Fermentación entrérica	4A				1,740,397								
Manejo de estiércol	4B				54,003	0,019							
Cultivo de arroz	4C				12,724								
Suelos agrícolas	4D					24,004							
Quemas programadas de suelos	4E												
Quemas in situ de residuos agrícolas	4F				1,842	0,030	38,690	1,099					
Otros	4G												
Captura de emisiones de metano de los bosques y otra biomasa leñosa	5												
Cambio de uso de suelo	5A												
Captura por abandono de tierras	5B												
Emisiones y captura de CO ₂ del suelo	5D												
Otros	5E												
Residuos	6	77,417			2,891,735	5,974							
Disposición de residuos sólidos en suelo	6A				1,580,806								
Manejo y tratamiento de aguas residuales	6B				1,310,929	5,963							
Incineración de residuos	6C					0,011							
Otros	6D				77,417								
Otras fuentes de emisiones	7												
Bunkers		1,741,328			1,072	0,046	17,731	8,573	10,765	0,583			
Aviación internacional	1A3ai	1,622,126			1,064	0,045	16,109	6,139	10,441	0,313			
Navegación internacional	1A3di	119,202			0,008	0,001	1,622	2,434	0,324	0,270			
Emisiones de CO₂ por quema de biomasa		37,572,659											

CATEGORÍA DE EMISIÓN	año	2000											
		gas GEI	Emisiones de CO ₂	Absorciones de CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO	NO _x	COVDM	HFCs			
										P	A		
TOTAL de emisiones nacionales			404,412,186	0.0000	6,744,121	39,124	7,664,473	1,501,188	1,748,744	2,945,017	3,267	0.0000	0.0
Energía			353,867,927		2,028,797	6,950	7,573,143	1,494,702	891,007	2,840,740			
Consumo de Combustibles fósiles	1A		352,047,654		123,526	6,950	7,567,263	1,491,028	852,058	2,781,949			
Industria generadora de energía	1A1		166,840,021		1,251	0,732	35,840	535,235	11,368	2,233,740			
Manufactura e industria de la construcción	1A2		54,204,067		3,912	0,567	342,120	116,122	9,226	457,525			
Transporte	1A3		110,607,963		38,664	4,353	5,835,580	674,863	661,055	69,482			
Otros sectores	1A4		30,395,603		79,699	1,278	1,353,724	164,807	170,410	21,201			
Emisiones fugitivas de combustibles	1B		1,820,273		1,905,271		5,879	3,674	38,949	58,791			
Combustibles sólidos	1B1				82,331								
Petróleo y gas natural	1B2		1,820,273		1,822,940		5,879	3,674	38,949	58,791			
Procesos Industriales	2		50,442,143		4,610	0,820	56,545	5,498	611,937	104,277	3,267		
Productos minerales	2A		30,111,494				0,002	0,000	478,275	9,969			
Industria química	2B		1,222,500		4,610	0,820	7,543	1,846	31,650	72,124			
Producción de metales	2C		19,108,149				39,600	0,594	0,652	10,884			
Otros procesos industriales	2D						9,400	3,058	101,360	11,300			
Producción de halocarbonos y hexafluoruro de azufre	2E												
Consumo de halocarbonos y hexafluoruro de azufre	2F												
Otros	2G												
Solventes y uso de otros productos	3												
Aplicación de pinturas	3A												
Tintorerías	3B												
Manufactura y procesamiento de productos químicos	3C												
Otros	3D												
Agricultura	4												
Fermentación entérica	4A												
Manejo de estiércol	4B												
Cultivo de arroz	4C												
Suelos agrícolas	4D												
Quemas programadas de suelos	4E												
Quemas insitu de residuos agrícolas	4F												
Otros	4G												
Cambio de uso de suelo y silvicultura	5												
Cambios en existencia (inventario) de bosques y otra biomasa													
leñosa	5A												
Cambio de uso de suelo	5B												
Captura por abandono de tierras	5C												
Emisiones y captura de CO ₂ del suelo	5D												
Otros	5E												
Residuos	6		102,116										
Disposición de residuos sólidos en suelo	6A												
Manejo y tratamiento de aguas residuales	6B												
Incineración de residuos	6C		102,116										
Otros	6D												
Otros fuentes de emisiones	7												
Bunkers			1,911,279		1,109	0,050	10,632	19,364	11,321	1,519			
Aviación internacional	1A3ai		1,710,031		1,095	0,048	6,538	16,635	10,775	0,331			
Navegación internacional	1A3di		201,248		0,014	0,002	4,094	2,729	0,546	1,188			
Emisiones de CO₂ por quema de biomasa			36,661,935										

CATEGORIA DE EMISION	año gas GEI	2002										
		Emisiones de CO ₂	Atracciones de CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO	NO _x	COVDM	SO ₂	HFCs		
										P	A	
Categoría		(Gg)										
TOTAL de emisiones nacionales		393,532,448	0,000	6,805,654	39,815	6,302,226	1,412,405	1,579,315	2,612,912	3,107		
Energía	1	346,361,314		1,934,949	8,069	6,822,631	1,407,168	834,143	2,510,208			
Consumo de Combustibles fósiles	1A	345,364,954		121,330	8,069	6,816,519	1,403,349	793,653	2,449,092			
Industria generadora de energía	1A1	152,469,364		1,136	0,807	34,595	540,148	11,059	1,984,562			
Manufactura e industria de la construcción	1A2	51,025,368		3,811	0,576	348,691	108,795	6,952	388,466			
Transporte	1A3	111,959,959		35,766	5,401	5,069,229	596,353	602,389	55,974			
Otros sectores	1A4	29,910,264		80,618	1,285	1,364,604	158,052	171,264	20,091			
Emisiones fugitivas de combustibles	1B	966,360		1,813,618		6,112	3,820	40,490	61,117			
Combustibles sólidos	1B1	66,439										
Petróleo y gas natural	1B2	966,360		1,747,179		6,112	3,820	40,490	61,117			
Procesos Industriales	2	47,069,138		3,620	0,360	42,133	4,173	525,272	102,704	3,107		
Productos minerales	2A	30,618,698				0,002	0,000	390,519	10,012			
Industria química	2B	1,128,000		3,620	0,360	6,761	0,814	32,940	72,093			
Producción de metales	2C	15,322,440		0,000	0,000	26,500	0,472	0,543	8,799			
Otros procesos industriales	2D	0,000				8,870	2,887	101,270	11,800			
Producción de halocarbonos y hexafluoruro de azufre	2E											
Consumo de halocarbonos y hexafluoruro de azufre	2F											
Otros	2G											
Solventes y uso de otros productos	3											
Aplicación de pinturas	3A											
Tintorerías	3B											
Manufactura y procesamiento de productos químicos	3C											
Otros	3D											
Agricultura	4			1,841,980	24,079	37,463	1,064					
Fermentación entérica	4A			1,779,375								
Manejo de estiércol	4B			54,974	0,020							
Cultivo de arroz	4C			5,847								
Suelos agrícolas	4D				24,030							
Quemas programadas de suelos	4E											
Quemas in situ de residuos agrícolas	4F			1,764	0,029	37,463	1,064					
Otros	4G											
Cambio de uso de suelo y silvicultura	5											
Cambios en existencia (inventario) de bosques y otra biomasa leñosa	5A											
Cambio de uso de suelo	5B											
Captura por abandono de tierras	5C											
Emisiones y captura de CO ₂ del suelo	5D											
Otros	5E											
Residuos	6	101,996		3,025,106	6,307							
Disposición de residuos sólidos en suelo	6A			1,664,791								
Manejo y tratamiento de aguas residuales	6B			1,360,315	6,292							
Incineración de residuos	6C	101,996			0,015							
Otros	6D											
Otros fuentes de emisiones	7											
Bunkers		1,602,443		0,994	0,043	16,500	8,015	9,977	0,739			
Aviación internacional	1A3ai	1,466,632		0,986	0,042	14,891	5,601	9,655	0,284			
Navegación internacional	1A3di	115,811		0,008	0,001	1,609	2,414	0,322	0,455			
Emisiones de CO₂ por quema de biomasa		37,207,361										

Apéndice B

Notas sobre Aseguramiento y Control de Calidad

B.1. Energía

Metodologías para estimar las emisiones de CO₂ procedentes de la quema de combustibles fósiles.

Metodología sectorial.

Esta metodología también conocida como método de abajo hacia arriba, se caracteriza por utilizar seis pasos para estimar las emisiones de CO₂ provenientes de la quema de combustibles fósiles. Esta metodología es recomendada por el PICC para elaborar estimados detallados de emisiones por sector.

Estos pasos se describen a continuación:

Paso 1. Determinación del Consumo de Energía por Tipo de Combustible y Sector.

Los datos básicos de consumo se obtienen directamente de la Administración de la Información de la

Energía (EIA siglas en inglés) del Departamento de Energía de los Estados Unidos en unidades físicas que deben convertirse a unidades de energía, en nuestro caso de la Secretaría de Energía (SENER) a través de los Balances Nacionales de Energía donde los datos básicos de producción, importaciones, exportaciones y variaciones de inventarios, ya se encuentran en unidades de energía.

Los datos de consumos de energía se agregan por sector (residencial, comercial, agropecuario, industrial, transporte y generación de electricidad), combustibles primarios (carbón, gas natural, y petróleo), combustibles secundarios (gasolina automotriz, combustóleo, etc.). El consumo total de energía de todos los sectores, incluye el combustible usado con propósitos no energéticos y el combustible utilizado en los Bunker Internacionales, estos dos rubros son deducidos en los últimos pasos de la metodología.

Las estadísticas de producción y consumo de combustibles de la AIE están basadas en el uso del Valor

Calorífico Bruto (VCB), y las del PICC en el Valor Calorífico Neto (VCN). La convención simplificada usada por la Agencia Internacional de Energía (IEA siglas en inglés) para convertir el VCB a VCN es multiplicar el contenido de energía por 0.95 para el petróleo, sus derivados, y el carbón, y por 0.90 para el gas natural.

Paso 2. Determinación del Contenido de Carbono en Todos los Combustibles.

El contenido de carbono de los combustibles fósiles quemados se estima multiplicando el consumo de energía por los coeficientes de contenido de carbono de cada combustible expresados como cantidad de carbono por unidad de energía. Los contenidos de carbono resultantes son algunas veces referidos como emisiones potenciales o la cantidad máxima de carbono que podría potencialmente ser liberada a la atmósfera si todo el carbono en los combustibles fuera oxidado. Los coeficientes de contenido de carbono usados normalmente son los indicados en la metodología por defecto del PICC.

Paso 3. Ajuste por la Cantidad de Carbono Almacenado en los Productos.

Dependiendo del uso final, los usos no energéticos de los combustibles fósiles dan como resultado el almacenamiento a largo plazo de algo o todo el carbono contenido en los combustibles. Por ejemplo el asfalto que se hace de petróleo, puede secuestrar hasta el 100% del carbono contenido en el petróleo que alimenta al proceso por periodos extensos de tiempo. Otros productos derivados de los combustibles fósiles como los lubricantes o plásticos pueden almacenar también carbono, sin embargo pueden perder o emitir parte de ese carbono cuando son usados o quemados como desechos.

Las cantidades de carbono en los productos derivados de los combustibles fósiles que se usan en actividades no energéticas en el sector industrial y de transporte, se multiplican por los coeficientes de contenido de carbono específicos de cada combustible para obtener la cantidad máxima de carbono que pue-

de permanecer en los productos no energéticos, esta cantidad se multiplica por la fracción de carbono que se supone realmente permanece en el producto para obtener finalmente los estimados por sector y por tipo de combustible

Paso 4. Remoción del carbono contenido en los combustibles usados en los Bunker Internacionales.

Las emisiones de las actividades del transporte internacional o consumos de combustibles en Bunker Internacionales, no se deben incluir en los totales nacionales como lo requiere el PICC, pero deben ser reportadas por separado. Las estadísticas de energía de la EIA y de la SENER incluyen los combustibles usados en los Bunker (queroseno para naves aéreas y diesel y combustóleo para naves acuáticas) como parte del consumo de combustibles del sector transporte. Para compensar esta inclusión, las emisiones de estos combustibles se calculan por separado y el contenido de carbono de esos combustibles se resta de la cifra del sector transporte. El cálculo de las emisiones de los combustibles usados en Bunker sigue el mismo procedimiento usado para el cálculo de las emisiones de los otros combustibles (estimación del consumo, determinación del contenido de carbono, y ajuste por la fracción de carbono no oxidado).

Paso 5. Determinación del Carbono que no se Oxida durante la Combustión.

Debido a que los procesos de combustión no son 100% eficientes, algo del carbono contenido en los combustibles no se emite en forma gaseosa a la atmósfera, permaneciendo como hollín, materia particulada y ceniza.

La fracción estimada de carbono no oxidado en los procesos de conversión debido a la ineficiencia de la combustión va desde 0.5% para el gas natural hasta alrededor del 1% para el petróleo y carbón.

De la fracción de carbono que es oxidado (99 – 99.5%) la mayor parte de él, se emite bajo la forma de dióxido de carbono, y una fracción mucho más pequeña de carbono oxidado se emite como monóxido

de carbono, metano y compuestos orgánicos volátiles diferentes al metano.

Paso 6. Suma de los Estimados de las Emisiones.

Las emisiones reales de CO₂ se suman por combustible principal (Carbón, Petróleo, Gas Natural) y por sector consumidor (Residencial, Comercial, Agropecuario, Industrial, Transporte y Generación de Electricidad). Los estimados de las emisiones se expresan en Teragramos de CO₂ equivalente.

Metodología de referencia.

Las Directrices de la CMCCNU sobre el reporte de las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) provenientes de la quema de combustibles fósiles, solicita a los países que además de usar la metodología sectorial o método de abajo hacia arriba, también usen la metodología de referencia o método de “arriba hacia abajo” en conformidad con lo establecido en la sección 1.3 “Instrucciones para el Reporte” de las Directrices revisadas 1996 del PICC sobre los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero, donde se pide a los países hacer este trabajo adicional con el único propósito de cumplir con la verificación como lo indican las buenas prácticas.

La metodología de referencia estima las emisiones de dióxido de carbono, haciendo uso del consumo de los combustibles fósiles ajustado con los datos agregados nacionales de la producción de combustibles, con importaciones, exportaciones y cambios en los inventarios, en lugar de los consumos por usuario final. El principio que sustenta a esta metodología es el siguiente: Una vez que los combustibles basados en el carbono ingresan a la economía nacional, se conservan de alguna forma (almacenados en productos, en los inventarios de combustibles) o se queman con la consecuente oxidación y liberación a la atmósfera del carbono contenido en ellos. En los párrafos siguientes se discuten los pasos necesarios para estimar las emisiones de CO₂ por quema de combustibles fósiles, usando la metodología recomendada por el PICC, el Método de Referencia.

Paso 1. Reunir y Ensamblar los Datos en un Formato Adecuado.

Para garantizar que los inventarios nacionales sean comparables entre sí, el PICC recomienda a los países utilicen la convención empleada por la Agencia Internacional de Energía (AIE o IEA, siglas en inglés) para reportar los datos de energía. El primer paso es reunir a través del Balance Nacional de Energía los datos necesarios sobre producción, importación, exportación y variación de inventarios. Cuando los datos de producción, importación, exportación, y variación de inventarios estén expresados en unidades físicas, estos tienen que convertirse a unidades de energía, antes de calcular las emisiones de CO₂.

Paso 2. Estimar el Consumo Aparente de los Combustibles.

El siguiente paso es determinar el consumo aparente de los combustibles dentro del país. Esto requiere de un balance entre los combustibles primarios producidos, más las importaciones, menos las exportaciones y el ajuste por variación de inventarios. De esta manera, el carbono entra a una economía a través de la producción e importaciones de energía y la disminución en los inventarios, y sale del país a través de las exportaciones y el aumento en los inventarios. El consumo aparente de los combustibles primarios (incluyendo petróleo crudo, líquidos del gas natural, carbón tipo antracita, bituminoso y sub-bituminoso, y lignito, y gas natural), se calcula aplicando la siguiente fórmula:

$$\text{Consumo Aparente} = \text{producción} + \text{Importación} - \text{Exportación} - \text{Variación de inventarios.}$$

Los flujos de combustibles secundarios (gasolina, combustóleo, coque, etc.) se deben añadir a los consumos aparentes de combustibles primarios. La producción de los combustibles secundarios se debe ignorar en los cálculos del consumo aparente debido a que el carbono que está contenido en esos combustibles ya se

considero en el suministro de combustibles primarios de los cuales son derivados, por ejemplo, el estimado para el consumo aparente del petróleo crudo ya contiene el carbono del cual la gasolina será refinada. Los flujos de los combustibles secundarios por tanto serán calculados con la siguiente ecuación:

Consumo Secundario = Importaciones – Exportaciones – Variación de inventarios.

Este cálculo puede resultar en números negativos para el consumo aparente de combustibles secundarios. Esto es perfectamente aceptable ya que esto indica una explotación neta o un aumento en el inventario de ese combustible en el país cuando la producción nacional no esta considerada.

El siguiente paso es restar tanto del consumo aparente como del consumo de secundarios los usos de los combustibles como materias primas para los procesos industriales y los combustibles para los Bunker Internacionales.

Paso 3. Estimar las emisiones de carbono.

Una vez que el consumo aparente se estimó los cálculos restantes son virtualmente idénticos a aquellos de la metodología sectorial o método de abajo hacia arriba. Es decir:

- Las emisiones potenciales de CO₂ se estimaron usando los valores por defecto de los coeficientes de carbono específicos de cada combustible, indicados en la columna 9 de la tabla 1-1 del Manual de Referencia del PICC.
- El carbono en los productos de los combustibles fósiles de uso no energético, se estima y resta de.
- Finalmente para obtener las emisiones reales de CO₂, las emisiones netas se ajustan con respecto a cualquier carbono que permanezca sin oxidar como resultado de una combustión incompleta, usando las fracciones de carbono oxidado indicadas en la tabla 1-6 del Manual de Referencia del PICC.

Paso 4. Conversión a las emisiones de CO₂.

El paso final en la estimación de las emisiones de CO₂ derivadas del consumo de combustibles fósiles, es la conversión de las unidades de carbono a unidades de CO₂. Las emisiones reales de carbono se multiplican por la relación de peso molecular a peso atómico de CO₂ a Carbono (44/12) para obtener el dióxido de carbono total emitido de la combustión de los combustibles fósiles en Teragramos (Tg).

Comparación entre la Metodología Sectorial y la Metodología de Referencia.

Ambas metodologías pueden producir estimados fiables comparables en unos cuantos puntos porcentuales. La mayor diferencia entre las metodologías subyace en los datos de energía usados para derivar las emisiones de carbono. En teoría ambas metodologías deberían producir resultados idénticos. En la práctica sin embargo esto no ocurre debido a que hay pérdidas durante la transformación de la energía primaria a la energía secundaria. El método de referencia utiliza los datos de energía primaria, mientras que el método sectorial utiliza los datos de la energía secundaria, sin embargo en nuestro caso la diferencia en los resultados de ambos métodos indica que las estimaciones son buenas y congruentes.

Metodología para estimar las emisiones de CH₄, N₂O y precursores del ozono (NO_x, CO, COVDM) provenientes de la combustión en fuentes fijas.

Estimación de las emisiones de CH₄, N₂O, NO_x, CO, y COVDM.

Las emisiones de metano (CH₄), de óxido nitroso (N₂O), de los óxidos de nitrógeno (NO_x), el monóxido de carbono (CO), y los compuestos orgánicos volátiles diferentes al metano (COVDM) provenientes de la combustión estacionaria, se estimaron utilizando los factores de emisión y los métodos del PICC (Nivel 1).

Los estimados se obtuvieron multiplicando los factores de emisión por sector y por tipo de combustible, por los datos de consumo de biomasa (madera, carbón vegetal, otra biomasa y residuos), carbón, gas natural y petróleo (gasolina para el transporte, diesel para el transporte, y otros productos del petróleo). Esta metodología de “Arriba hacia abajo” se caracteriza por los tres pasos básicos siguientes:

Paso 1. Determinación del consumo anual de combustibles por sector en unidades de energía.

Se deben incluir en los cálculos todos los combustibles quemados en el país. Los combustibles utilizados en los bunker internacionales para el transporte aéreo y marítimo se deberán declarar por separado. El consumo de combustibles se desglosa de acuerdo con las principales actividades (industrias de la energía, industrias manufactureras y construcción, Transporte (aviación nacional, por carretera, ferrocarriles, navegación nacional), y Otros sectores (comercial/institucional, residencial, agropecuario (fuentes estacionarias, fuentes móviles)) todo esto debido a que las emisiones varían considerablemente dependiendo de la tecnología de combustión y de las condiciones de funcionamiento (recomendación del PICC).

Paso 2. Determinación de los factores de emisión para cada combustible por sector.

En la sección 1.4.2 del Manual de Referencia del PICC se indican los valores por defecto de los factores de emisión para cada combustible. Los valores por defecto para los bunker internacionales son los factores de emisión propuestos para el transporte aéreo y marítimo.

Paso 3. Determinación de las emisiones de cada tipo de gas.

Se multiplica el consumo de combustible por los factores de emisión, se calcula el total de emisiones para cada combustible sumando estas a través de todos los sectores. Finalmente se calcula el total de las emisiones que corresponde a cada sector.

Metodología para estimar las emisiones de SO₂.

Las emisiones de SO₂ mantienen una relación con la composición de los combustibles y no con las tecnologías de combustión. El método de nivel 1 del PICC requiere que los combustibles sean desglosados en función a su contenido de azufre. El cálculo se divide en tres pasos:

Paso 1. Determinación del consumo anual de combustibles en unidades de energía.

Paso 2. Determinación de los factores de emisión de SO₂.

Paso 3. Determinación de las emisiones.

El método puede aplicarse para el consumo total de combustibles o puede aplicarse para cada sector asegurándose de que todo el consumo nacional de combustibles este reflejado.

Metodología para estimar las emisiones de CH₄, N₂O y precursores del ozono (NO_x, CO, COVDM) provenientes de la combustión en fuentes móviles.

Las emisiones de CO₂ derivadas del consumo de combustibles en el sector transporte, se estimaron siguiendo el procedimiento establecido en el Manual de Referencia conocido como metodología sectorial y que se ha descrito en el Anexo 1.

Para el transporte marítimo y ferroviario las emisiones de los otros gases distintos al CO₂ se calcularon con la misma metodología sectorial usando los factores por defecto del PICC.

Para el transporte aéreo, las emisiones de los gases distintos del CO₂ se calcularon con un método de nivel 2 (método 2a) con los factores de emisión y consumo de combustible por defecto reportados en la tabla 1-52 del Manual de Referencia del PICC. En este cálculo se considera solamente los combustibles utilizados por la aviación nacional.

El transporte por carretera es un caso especial, las emisiones de estos gases se calcularon utilizando un

método de nivel 1 debido a que hubo un cambio en la metodología aplicada para el periodo 2000 – 2002. Esto motivó el recálculo de las emisiones de los años anteriores para ajustar la serie histórica temporal conforme a las recomendaciones de las buenas prácticas.

El ajuste de la serie se hace utilizando una metodología sectorial tipo nivel 1 del PICC, con la siguiente ecuación:

Emisiones del gas (i) = Actividad x Factor de emisión del gas (i).

La actividad es representada por el consumo de energéticos, y el factor de emisión es el agregado para la actividad en su conjunto. La Orientación de las Buenas Prácticas propone cuatro formas de abordar la realización de nuevos cálculos: (a) el traslape, (b) la sustitución, (c) la interpolación, y (d) la extrapolación de tendencias. El traslape funciona cuando existe una relación proporcional entre los dos métodos (el anterior y el nuevo). Los factores de emisión indicados en la metodología sectorial están basados en la no existencia de tecnologías de control de emisiones en los vehículos, mientras que el método de nivel 2 permite evaluar los cambios en las tecnologías de control de emisiones.

La sustitución, relaciona las estimaciones de las emisiones con los datos de actividad u otros datos indicativos, y los cambios de los datos se usan para simular la tendencia de las emisiones por lo que la estimación debe relacionarse con la fuente de datos estadísticos que mejor expliquen las variaciones temporales de la categoría de fuentes de emisión. Es decir se necesitan datos específicos de actividad que en este caso es lo que no se puede determinar, además de que no se recomienda para periodos largos.

La interpolación, se usa para unir datos intermitentes entre años diferentes, esta no es nuestra situación.

La extrapolación de tendencias se utiliza en situaciones donde la tendencia no presenta variaciones. La tendencia por el método de nivel 1 es hacia el crecimiento de todas las emisiones, mientras que con el método de nivel 2 la tendencia de algunas emisiones es decreciente.

La Orientación de las Buenas Prácticas señala que a veces es necesario desarrollar un enfoque a la

medida de la situación, y que las opciones comunes pueden no servir si las condiciones técnicas cambian en el curso de la serie temporal como ocurre cuando se introducen tecnologías de mitigación. Estas condiciones se presentaron en México durante la década 1990 – 2000, periodo en el cual se introdujeron medidas de mitigación para los gases monóxido de carbono, hidrocarburos, y óxidos de nitrógeno. Bajo esta situación la Orientación de las Buenas Prácticas propone revisar los factores de emisión y estudiar cuidadosamente la tendencia de los factores a lo largo del periodo. En relación al factor de emisión de N₂O, las Directrices del PICC recomiendan que cuando exista una alta proporción de automóviles con convertidor catalítico de tres vías en el país, este factor de emisión debe incrementarse acorde con esa proporción.

El enfoque usado para ajustar la serie temporal de emisiones del transporte por carretera, es trabajar con los factores de emisión agregados de los gases de efecto invernadero diferentes del CO₂ conforme a lo señalado en las Directrices del PICC, es decir, incrementar los factores de emisión en la proporción que aumentan los vehículos con convertidor catalítico de tres vías. Esto es razonable debido a que el cambio tecnológico más importante en México es la incorporación al parque vehicular, de automóviles y vehículos ligeros a gasolina con convertidor catalítico de tres vías.

La metodología requiere conocer la proporción de vehículos con convertidor catalítico de tres vías que existen en el parque vehicular total. En 1993 se empezó a incorporar al parque vehicular mexicano, vehículos nuevos con convertidor catalítico de tres vías. También requiere de los algoritmos para calcular los nuevos factores de emisión.

Para las emisiones de NOx y CO, se consideró que el nuevo factor de emisión de cada uno de estos gases, debería ser el factor de emisión reportado en las Directrices del PICC, multiplicado por parte proporcional de la flota que no tenía convertidor catalítico de tres vías.

$$FE_{\text{Nuevo}}(\text{NOx}) = FE_{\text{PICC}} \times P_{S/C}$$

$$FE_{\text{Nuevo}}(\text{CO}) = FE_{\text{PICC}} \times P_{S/C}$$

Para las emisiones de N₂O, se consideró conveniente utilizar los factores de emisión propuestos en el cuadro 2.7 “Factores de Emisión Actualizados de los Vehículos Estadounidenses con Motor a Gasolina” del Capítulo 2 de la Orientación de las Buenas Prácticas del PICC, combinados en la siguiente expresión:

$$FE_{\text{Nuevo}}(\text{N}_2\text{O}) = FE_{\text{PICC}}(\text{N}_2\text{O})_{\text{S/C}} + FE_{\text{PICC}}(\text{N}_2\text{O})_{\text{3V}} \times P_{\text{C/C}}$$

La formula propuesta para simular el factor de emisión de COVDM es:

$$FE_{\text{Nuevo}}(\text{COVDM}) = FE_{\text{IMP}}(\text{COVDM})_{\text{S/C}} \times P_{\text{S/C}} + FE_{\text{IMP}}(\text{COVDM})_{\text{3V}} \times P_{\text{C/C}}$$

En cuanto al metano se considero que éste corresponde al 6% de los COVDM, por lo que el al-

goritmo de cálculo del nuevo factor de emisión del metano es:

$$FE_{\text{Nuevo}}(\text{CH}_4) = 0.06 \times FE_{\text{Nuevo}}(\text{COVDM})$$

La propuesta de utilizar los factores de emisión desarrollados por el Instituto Mexicano del Petróleo (IMP) tiene su fundamento en lo siguiente: después de evaluar los valores de los factores de emisión por defecto del PICC tanto de la metodología sectorial como del método de abajo hacia arriba propuestos en el Manual de Referencia del PICC, se determino que los factores de emisión del IMP se ajustaban mejor a los datos calculados con el método de nivel 2.

En la tabla B.1 se resumen los factores de emisión utilizados para calcular los nuevos factores de emisión presentados en la tabla B.2.

TABLA B.1 VALORES DE FACTORES DE EMISIÓN USADOS PARA CALCULAR LOS NUEVOS FACTORES DE EMISIÓN (KG/TJ)

Tipo	CO (PICC)	NOx (IMP)	N ₂ O (OBP-PICC)	COVDM (IMP)
Con catalizador			1.5	780
Sin catalizador	8000	435	7.3	138

OBP-PICC se refiere a la Orientación de las Buenas Prácticas del PICC; IMP se refiere al Instituto Mexicano del Petróleo, y PICC se refiere al Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático.

TABLA B.2 NUEVOS FACTORES DE EMISIÓN PARA EL TRANSPORTE AUTOMOTOR (KG/TJ)

Año	CH ₄	N ₂ O	CO	NOx	COVDM
1990	46.800	1.500	8000.000	435.000	780.000
1991	46.800	1.500	8000.000	435.000	780.000
1992	46.800	1.500	8000.000	435.000	780.000
1993	45.390	1.767	7707.146	419.076	756.498
1994	43.895	2.050	7396.723	402.197	731.587
1995	43.242	2.174	7261.128	394.824	720.706
1996	42.205	2.371	7045.682	383.109	703.416
1997	40.685	2.659	6729.955	365.941	678.079
1998	38.681	3.039	6313.896	343.318	644.690
1999	36.719	3.410	5906.405	321.161	611.992
2000	34.215	3.885	5386.338	292.878	570.248
2001	31.740	4.354	4872.392	264.927	528.998
2002	29.686	4.743	4445.947	241.737	494.770

Metodología para estimar las emisiones de metano procedentes del minado y manipulación del carbón, y de las actividades del petróleo y gas natural.

La metodología para estimar las emisiones de metano procedentes del minado y manipulación del carbón, consiste de dos pasos. En el primer paso se estiman las emisiones provenientes de las minas subterráneas, en el segundo paso se estiman las emisiones de metano de las minas a cielo abierto y de las actividades posteriores al minado.

Paso 1. Determinación del metano liberado y metano emitido en minas subterráneas.

La extracción del carbón mineral de las minas subterráneas genera gas metano el cual es removido mediante la inyección de flujos de aire que diluyen la concentración del metano en el interior de las minas. El aire cargado con metano es extraído de las minas mediante los sistemas de ventilación y los sistemas de desgasificación. En algunas minas se recupera y usa el metano generado de los sistemas de desgasificación, reduciendo en consecuencia las emisiones a la atmósfera. El metano total emitido en minas subterráneas se obtiene substrayendo el metano recuperado y usado, de la suma del metano liberado de los sistemas de ventilación y de los sistemas de desgasificación.

Todas las minas usan sistemas de ventilación para garantizar que los niveles de metano en el aire de las minas se mantienen dentro de las concentraciones de seguridad (menores al 1%). Las emisiones totales de las minas subterráneas se estiman sumando las emisiones anuales de cada mina, las cuales se obtienen multiplicando las emisiones medias diarias de metano por 365. El total de las emisiones de los sistemas de ventilación para un año en particular, se estima sumando las emisiones de las minas individuales.

En relación a los sistemas de desgasificación, las minas de carbón usan diferentes tipos para remover y recuperar el metano antes de llevar a cabo las tareas de minado de la veta de carbón incluyendo pozos verticales y perforaciones horizontales. Cuando no se dispone

de datos cuantitativos sobre la cantidad de metano liberado, la metodología para estimar las emisiones por desgasificación bajo la base de mina por mina, deberá utilizar otras fuentes de datos que estén disponibles. Por ejemplo, la Agencia de Protección al Medio Ambiente de los Estados Unidos (EPA) cuenta con información relacionada con el metano liberado de los sistemas de desgasificación de muchas minas de carbón que puede usarse para estimar las emisiones de metano. En los casos donde el metano recuperado de los sistemas de desgasificación sea vendido a los sistemas de gas natural, las ventas de gas se utilizan para calcular las emisiones. Finalmente cuando no se dispone de información sobre la venta de gas ni de la EPA, la cantidad de metano liberado de los sistemas de desgasificación se estima con base en el tipo de sistema empleado, por ejemplo, las minas que utilizan pozos verticales “gob” y perforaciones horizontales, la metodología supone que las emisiones por desgasificación representan el 40% del total de metano liberado por la mina. Para México, los datos de actividad (Producción en carbón en bruto es decir tal y como sale de la mina), se obtuvieron de los BNE en unidades de energía (PJ) y en unidades de peso (miles de toneladas métricas), así como de los reporte anuales por país de la USGS (U. S. Geological Survey) indicados en miles de toneladas métricas. Los datos de estas dos fuentes de información son congruentes entre sí.

Paso 2. Estimación del Metano Emitido de las Minas a Cielo Abierto y Actividades posteriores al minado.

Cuando los datos específicos de cada mina no están disponibles para estimar las emisiones de las minas a cielo abierto o de las actividades posteriores al minado, se recurre a utilizar la producción en bruto de las minas a cielo abierto y la producción después del lavado para determinar las emisiones de metano, multiplicándolas por un factor de emisión específico de la cuenca desarrollado por cada país.

Los datos de los BNE y de los reportes anuales de la USGS, se refieren a la clasificación del carbón térmico (Steam en inglés) y carbón siderúrgico (Metallurgical en inglés), todo el carbón siderúrgico y el 60% del térmico provienen de las minas subterráneas, el

restante 40% del carbón térmico proviene de las minas a cielo abierto (Fuente: Minera Carbonífera Río Escondido. Caterpillar Américas; Vol. 11, número 1, Págs. 12 -14).

Los factores de emisión usados son aquellos indicados en el Manual de Referencia del PICC, páginas 1.105, 1.108, y 1.110, correspondientes a las minas subterráneas, minas a cielo abierto y actividades posteriores a la extracción del carbón mineral.

La Metodología para estimar las emisiones de metano de las actividades de petróleo y gas natural consta de tres pasos:

Reunir los datos de actividad y principales variables del sistema de petróleo y gas natural.

Estimar los factores de emisión

Estimar las emisiones del año base y años subsiguientes.

Los datos de actividad requeridos por la metodología nivel 1 (producción de petróleo y gas natural, almacenamiento del petróleo, refinación del petróleo, transporte del petróleo, procesamiento del gas natural, transmisión del gas natural, y distribución del gas natural, consumo industrial y residencial del gas natural) se obtienen de las estadísticas nacionales de energía, en nuestro caso el Balance Nacional de Energía. Las cantidades anuales de descargas de CO₂ a la atmósfera no se estiman son datos directos. Las cantidades de gas que se vende y quema en antorcha se estima a partir de la producción total de gas natural.

Los factores de emisión utilizados son los valores medios de los rangos indicados en la tabla 1-58 columna "Otros Países Exportadores de Petróleo", excepto en el transporte y distribución del gas natural y en el venteo y quema en antorcha donde se utilizaron los valores inferiores de los rangos correspondientes.

La estimación de las emisiones se hace para cada año considerado (1990 – 2002) y se reportan en unidades de Gg de CO₂ equivalente.

B.2. Procesos Industriales

En la Guía de las Buenas Prácticas se reportan rangos de variación de la incertidumbre para algunas fuentes, entre ellas para la producción de cemento, hierro y

acero y cal. Siendo estas fuentes de las más importantes desde el punto de vista de los volúmenes de emisión de dióxido de carbono dentro de este módulo de Proceso Industriales.

En relación a la metodología utilizada, se siguió lo recomendado como *buena práctica* de examinar las estimaciones de las emisiones para todas las categorías de fuentes por año, resultando que para la mayoría de las circunstancias, el cambio cada dos años fue aproximadamente del 10%, lo cual es aceptable dentro de los criterios de QC, ya que se estima que tanto los niveles de emisión como los factores de emisión cambian en forma gradual.

Se realizó como buena práctica de QA, elaborar un archivo que comprende toda la información de datos de producción de las diferentes fuentes. Esto no se pudo realizar para información sobre factores de emisión, ya que todos los requeridos fueron obtenidos por defecto de las guías del IPCC/1996.

Además, dentro del informe final se dan detalles suficientes de las memorias de cálculo para cada estimación de cada fuente o subfuente.

Con referencia a qué tan completo puede ser considerado este informe, debemos llamar la atención en la imposibilidad de obtener información relacionada con la utilización en el país de N₂O y SF₆. Estos gases conocemos que son utilizados de manera importante en el sector salud el primero y en las instalaciones eléctricas, como subestaciones, el segundo. Sin embargo, aun con solicitud de parte de las autoridades del INE, fue imposible conocer los volúmenes de importación, exportación y utilización. Si para una próxima actualización de este Inventario Nacional se pudiera contar con esta información, se estaría dando un gran paso para poder hablar de un inventario casi completo.

B.3. Agricultura

Como primer paso para el aseguramiento del control de calidad, se revisan los reportes de los inventarios de emisiones anteriores y los datos de base usados en cada caso.

Se recurre a las fuentes oficiales (censos) y se analizan los procesos metodológicos del levantamiento

censal, paso seguido se hace acopio de los registros censales INEGI, SIACON y FAO, de donde se toman los valores de los hatos y cultivos.

Se registran las inconsistencias en los formatos y la información censal presentada por las diferentes instituciones y donde se encuentran vacíos de información (como el caso de ganado lechero y aves), se analizan las tendencias centrales del incremento – decremento del hato, se realizan modelos de correlación que expliquen dichas diferencias y se presenta el valor promedio de los modelos (con estimaciones alta y baja), reduciendo las incertidumbres generadas en inventarios anteriores.

Se siguen en orden cronológico los árboles de decisiones propuestos para llenar las hojas de registro de datos y se concluyen con las estimaciones de las emisiones de CO₂ equivalente del sector agrícola.

Los datos censales, se presentan en la misma hoja de cálculo.

B.4. Desechos

Para efectuar el inventario de las emisiones en cuestión, se empleó la metodología del PICC, de acuerdo al árbol de decisiones de cada caso. *Siendo ésta metodología la del software del PICC.* En función tanto de la información de las actividades y la existencia de los factores de emisión locales, correspondiendo en el primer caso a la información existente en el país y en el segundo a los valores por defecto para los factores de emisión considerados.

B.4.1. Residuos Sólidos Municipales.

De acuerdo con el árbol de decisiones, existen dos opciones para calcular el inventario de emisiones de metano por esta fuente, que son: empleando el método por defecto del PICC ó por el cálculo del decaimiento de primer orden. El primero nos permite emplear el Software del PICC con información de la actividad local y factores de emisión por defecto propuestos por la metodología. En tanto que el cálculo por decaimiento de primer orden requiere de datos locales de producción de residuos históricos anteriores al período con-

siderado 1990-2003. Para tener menor incertidumbre se optó como medida de control y aseguramiento de la calidad por la alternativa 1, es decir por el cálculo de las emisiones en cuestión con el Software del PICC.

Continuando con el procedimiento general para efectuar el inventario, el punto dos establece que se debe “Revisar y establecer los parámetros requeridos por la metodología resultante en el punto anterior” en otras palabras se procede a procesar la información de entrada para alimentar al programa de PICC. De acuerdo con el árbol de decisiones, la metodología propuesta nos indica calcular las emisiones de metano a partir de: la cantidad de residuos depositados en las diferentes categorías de sitios de disposición de residuos sólidos; la fracción de carbono orgánico degradable y la cantidad que se degrada realmente; y la fracción de metano presente en el gas producido en los sitios. Y se fundamenta en la siguiente ecuación:

$$\text{Ecuación B.1. Emisiones de metano en Gg/año} \\ (\text{RSUT} \times \text{RSUF} \times \text{FCM} \times \text{COD} \times \text{CODF} \\ \times \text{F} \times 16/12 - \text{R}) \times (1-\text{OX})$$

en la cual:

RSUT =	total de RSU generados (Gg/año)
RSUF =	fracción de los RSU eliminados en los sitios de disposición de residuos
FCM =	factor de corrección para el metano en función del tipo de sitio (fracción)
COD =	fracción de carbono orgánico degradable (defecto= 0.12)
CODF =	fracción de carbono convertido a metano (defecto = 0.77)
F =	fracción de metano en el gas producido en los sitios (defecto = 0.5)
R =	metano recuperado (0)
OX =	factor de oxidación (defecto = 0)

Los valores por defecto son sugeridos por la Guía de la Metodología versión 1996 del PICC. La metodología proporciona valores por defecto para estos parámetros cuando no se dispone de ellos en el país donde se aplique, a excepción del primero el cual es

intrínseco de cada país. Los valores situados entre paréntesis en la lista de descripción de parámetros, son los valores por defecto recomendados. Un parámetro incorporado a la metodología en cuestión es el FCM ya que se aplica en función del tipo de sitio de disposición que se trate de acuerdo la siguiente tabla.

El valor de COD ó DQO puede estimarse cuando se conoce la composición de los residuos de acuerdo a la siguiente ecuación B.2, o emplearse el valor por defecto sugerido por la metodología de acuerdo a la región y país de que se trate como se hizo en este caso.

Ecuación B.2.

$$\% \text{ de COD (en peso)} = 0.4 (A) + 0.17 (B) + 0.15 (C) + 0.3 (D)$$

donde:

- A = % de RSU que son papel y textiles
- B = % de RSU que son residuos de jardín y parques
- C = % de RSU que son residuos de comida
- D = % de RSU que son madera o pajas

Los valores de esta información son vaciados en las Tablas 6-1 y 6-1C de las hojas de cálculo propuestas por el software del PICC.

La Tabla 6-1C sirve para determinar el Factor de Corrección de Metano (MCF por sus siglas en inglés), que es un factor que pondera la cantidad de metano que se puede emitir en un país o región de acuerdo a los métodos de disposición de los residuos que se clasifican en: Sitios Controlados, Sitios No Controlados y Tiraderos a Cielo Abierto.

B.4.2. Aguas Residuales Municipales.

De acuerdo al procedimiento general, las emisiones de metano de aguas residuales municipales, el árbol de decisiones, indica que se pueden calcular mediante 4 opciones. De las cuales se seleccionó la opción No 2, que permite calcular las emisiones empleando el Software del PICC y los valores por defecto propuestos por la metodología de la Guía del PICC, en virtud de reducir la incertidumbre en función de la información disponible en nuestro país sobre este tema, y que es

TABLA B.3 FACTORES DE CORRECCIÓN DE METANO (FCM) EMPLEADOS EN LA ECUACIÓN B.1

TIPO DE SITIO	VALORES POR DEFECTO PARA FCM
Controlado	1.0
No Controlado-profundidad ³ 5 m	0.8
No controlado profundidad < 5 m	0.4
Sin clasificación	0.6

Fuente: Ref. 8.5.

TABLA B.4 FACTORES COD (CARBONO ORGÁNICO BIODEGRADABLE) PARA LA ECUACIÓN B.2

PARÁMETRO	1990	1992	1994	1996	1998	2000	2002	2003
A Papel y textiles (0.4) ¹	15.560	16.000	15.599	15.560	15.560	15.559	15.559	16.410
B Jardín y parques (0.17)	---	---	---	---	---	---	---	---
C Comida (0.15) ¹	52.399	51.999	52.400	52.399	52.400	52.400	52.400	50.409
D Madera y pajas (0.3)	---	---	---	---	---	---	---	---
Factor COD ²	0.140	0.141	0.140	0.140	0.140	0.140	0.140	0.141

¹Fuente: Secretaría de Desarrollo Social, Dirección General de Equipamiento e Infraestructura en Zonas Urbano-Marginadas.

²Estos valores fueron utilizados en las tablas del Software del IPCC.

proporcionado por la CNA en el ámbito de plantas de tratamiento de aguas residuales municipales y el INEGI en el ámbito doméstico donde las aguas son tratadas en fosas sépticas.

Continuando con el punto 2 del procedimiento general, se recopiló y procesó la información publicada por la CNA y el INEGI para ser alimentada al Software del PICC, encontrando que esta información como se ha señalado no se genera para los propósitos del inventario de emisiones de GEI.

El Software del PICC requiere una serie de parámetros que implican el procesamiento de la información de la producción y manejo de las aguas residuales del país en consideración de acuerdo al diagrama de flujo de la figura B.1. Estas hojas son cuatro y se identifican como la tabla o Worksheet 6-2 de acuerdo a la nomenclatura de la metodología PICC 1996, a su vez estas hojas se identifican entre sí como STEP 1, STEP 2, STEP 3 y STEP 4.

Para efectuar el balance indicado por la figura B.1 que pide inicialmente la cantidad de agua Recolectada y No Recolectada, se parte del Censo de Población y vivienda que reporta el número de viviendas habitadas, las viviendas conectadas al drenaje de la calle, a la fosa séptica, a desagües en río o lago, las viviendas que no disponen de drenaje, y los no especificados. El agua Recolectada se refiere a la fracción Viviendas conectadas al drenaje de la calle, y la No Recolectada a la fracción restante, para ello se dividen los valores correspondientes entre el total de viviendas para el primer caso, y para el segundo se sustrae a la unidad la fracción resultante para obtener la fracción de agua No Recolectada. Esta información se vació en la tabla B.4. Para los años no reportados por los Censos y el Censo se estimaron de acuerdo a las tasas de crecimiento especificadas al pie de la Tabla B.4 citado.

La figura B.1 continúa por el extremo de No recolectada con conceptos tales como: Tratada en sitio (letrinas, fosas) (valor F en la tabla B.4), y Sin tratamiento (valor E de la tabla B.4). Para conocer el valor del agua Tratada, se divide el número de viviendas con fosa séptica entre el total de viviendas, el valor resultante se resta al valor de agua No Recolectada para determinar el valor correspondiente a la fracción de agua Sin trata-

miento. La fracción de agua Sin tratamiento de acuerdo al diagrama en cuestión B.1, se divide en dos conceptos que son: agua dispuesta en la Tierra y agua dispuesta en Mar y ríos, los valores del censo no se reportan por separado estos conceptos por lo que se obtiene de manera conjunta dividiendo el número de viviendas con este tipo de drenaje entre el número total de viviendas, el valor resultante se sustrae al valor correspondiente al concepto de agua Sin tratamiento para obtener la fracción de agua dispuesta sin especificaciones.

Continuando con el diagrama de la figura B.1 en su extremo de Agua Recolectada, se divide en agua Sin tratar (valor K de la tabla B.4) y agua con tratamiento (valor J de la tabla B.4) que se obtiene de los inventarios y reportes de plantas de tratamiento elaborados por la Comisión Nacional del Agua (CNA) de los cuales no se tiene para todos los años. El valor correspondiente al agua recolectada sin tratamiento se obtuvo por la diferencia entre el total de agua recolectada menos el agua Con Tratamiento (valor de J en la tabla B.4), y se reportó en la fila K de la tabla B.4. Los valores de K, J, F y E corresponden a los sectores Con Tratamiento Municipal, Sin Tratamiento Municipal, Con Tratamiento Doméstico y Sin Tratamiento Doméstico, respectivamente señalados en la primera columna de la hoja de cálculo 6-2 (Worksheet 6-2) del Software del PICC.

Dicho de otra manera, en la primer (STEP 1) se tiene que proporcionar la población del país dividida de acuerdo a la gestión del agua en los ámbitos municipal y doméstico con tratamiento y sin tratamiento, para ello se multiplicaron los valores K, J, F y E de la tabla B.4, por la población correspondiente a cada año reportado. Para el parámetro de contenido de materia orgánica se emplearon valores por defecto (60 gDBO/hab/día, Ref: 2). Así como para la fracción de materia orgánica separada como lodos de las aguas residuales (0.5 misma Ref). En esta primera etapa se obtienen los valores de contenido orgánico tanto en las aguas residuales como en los lodos separados de las mismas.

En la etapa dos (STEP 2) se tienen que proporcionar valores en forma de fracción, relativos a los diferentes tratamientos a que son o no sometidos las aguas residuales, para lo cual se requiere procesar la infor-

TABLA B.5 PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN GENERADA POR LA CNA PARA LA ESTIMACIÓN DE LAS EMISIONES DE METANO DERIVADAS DE LAS AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES

RUBRO	1990	1992	1994 ^{2,7}	1996 ³	1998 ⁴	2000	2002 ^{1,6}	2003 ⁶
Población (No hab)	81249645	85076662	89083940	92376164	94860944	97483412	100105568	101442979
A Viviendas Habitadas en el país	16035233	17291016 ¹⁴	18645144	19773877	20625229	21513235	22439473	22917441
B Viviendas con Drenaje conectado a la calle ¹⁵	8362838	9225977	10178202	11228707	12387636	13666180	15076684	15835623
C Viviendas con Drenaje Conectado a Fosa Séptica ¹⁶	1402525	1569413	1756160	1965128	2198962	2460620	2753413	2912626
D No Recolectada (Fracción) (Doméstica)	0.478	0.455	0.432	0.397	0.389	0.365	0.347	0.338
E Agua Residual Doméstica Sin Tratamiento ⁰	0.391	0.365	0.337	0.278	0.269	0.251	0.230	0.219
F Agua Residual Doméstica con Tratamiento ⁰	0.087	0.090	0.095	0.119	0.120	0.114	0.117	0.119
G Agua Residual m3/s	123	140 ⁸	160	180	187	200 ⁶	202.9	203
H Agua Tratada m3/s	19.3	29.1	32.065	33.745	40.854	45.927	56.148	60.242
I Recolectada (Fracción) (Municipal)	0.522	0.545	0.568	0.603	0.611	0.635	0.653	0.662
J Con Tratamiento ⁹ (Fracción)	0.082	0.113	0.114	0.113	0.133	0.145	0.180	0.196
K Sin tratar ¹⁰ (Fracción)	0.440	0.432	0.454	0.490	0.478	0.490	0.473	0.466
L Fracción Por Tecnología Con Tratamiento Anaeróbio	0.297	0.297	0.288	0.297	0.333	0.247	0.243	0.248
M Fracción Por Tecnología Con Tratamiento Aeróbio	0.703	0.703	0.712	0.703	0.667	0.753	0.757	0.752
N Fracción Con Tratamiento Anaeróbio	0.024	0.034	0.033	0.034	0.044	0.036	0.044	0.049
Ñ Fracción Con Tratamiento Aeróbio	0.058	0.079	0.081	0.079	0.089	0.109	0.136	0.147
O Fracción CTA en Reactor ¹²	0.002	0.003	0.002	0.003	0.006	0.004	0.006	0.003
P Fracción CTA en Laguna ¹²	0.022	0.031	0.031	0.031	0.038	0.032	0.038	0.046
Q Fracción de Agua Con Tratamiento Aeróbio Dispuesta en Digestión	0	0	0	0.017 ¹³	0.008	0.009	0.007 ¹³	0.015
R Fracción de Agua Con Tratamiento Aeróbio Dispuesta como Riego	0.058	0.079	0.081	0.062	0.072	0.092	0.119	0.132

⁰Datos obtenidos a partir de los Censos de Población 1990 y 2000, y Conteo 1995.

¹ Estadísticas del Agua en México, SEMARNAT-CNA, SUIBA, Edición 2004. Pág. 49, 76

² Situación del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento a Diciembre de 1994, Comisión Nacional del Agua, págs. 17, 18.

³ Situación del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento a Diciembre de 1996, Comisión Nacional del Agua, págs. 44.

⁴ Situación del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento a Diciembre de 1998, Comisión Nacional del Agua, págs. 45, 47.

⁵ Situación del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento a Diciembre de 2000, Comisión Nacional del Agua, págs. 45.

⁶ Estadísticas del Agua en México, SEMARNAT-CNA, SUIBA, Edición 2005. Pág. 49, 72, 73

Situación del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento a Diciembre de 2002, Comisión Nacional del Agua, págs. 46.

⁷ Informe de la Situación General en Materia de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente 1993-1994. Secretaria de Desarrollo Social – Instituto Nacional de Ecología, págs. 113,121

⁸ Calculado por interpolación por un factor de 1.14531809 a una tasa de crecimiento anual del 14.531%.

⁹ Se calculó dividiendo los valores de agua residual tratada entre el agua residual total, multiplicando el cociente por la Fracción de Agua Recolectada.

¹⁰ Se obtiene mediante la diferencia entre la fracción de agua recolectada con tratamiento y la recolectada.

¹¹ Se obtiene multiplicando la fracción recolectada con tratamiento por la Fracción por Tecnología de Tratamiento de Agua Residual Municipal Recolectada.

¹² Se obtiene multiplicando la fracción de aguas residuales con tratamiento anaeróbio por la fracción de aguas con tratamiento anaeróbio en reactor.

¹³ Se estimaron multiplicando la fracción de agua residual tratada con tratamiento de lodos por digestión anaerobia por la fracción de agua tratada por medio aerobios y por un factor por defecto de 0.5 que se refiere a la cantidad de materia orgánica como DBO en agua y lodos.

¹⁴ Se estimaron con una tasa de crecimiento anual de 3.8418 para los años de 1992 y 1994, y de 2.1300 para los años de 1996, 1998, 2002 y 2003, tomando como referencia los datos de los Censos de 1990 y 2000, así como del Conteo 1995.

¹⁵ Se calcularon con una tasa anual de crecimiento del 5.0338 para todos los años excepto 1990 y 2000 cuando se generaron datos de los Censos.

¹⁶ Se calcularon con una tasa anual de crecimiento de 5.7824 para todos los años excepto para 1990 y 2000.

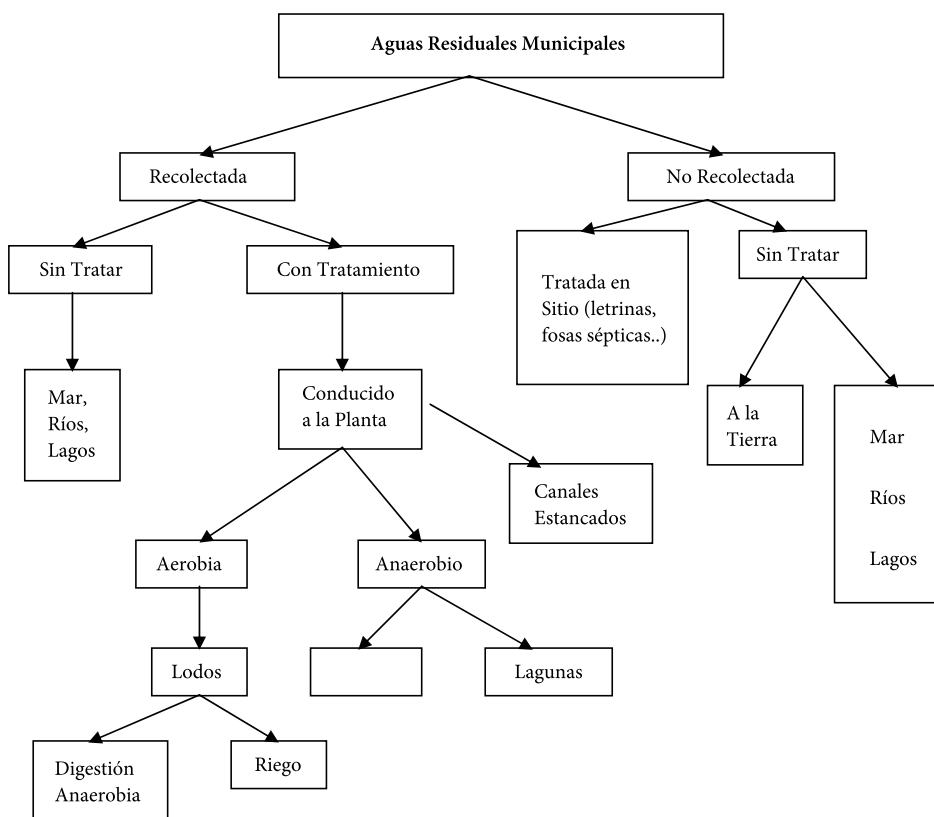
mación y obtener los balances de acuerdo a la figura B.1. Estos valores son los correspondientes a la suma de O, P y Q para la primera fila de la hoja de cálculo 2, para la segunda fila el valor de J, para la tercera de F y E para la última fila de la columna B. Los factores de conversión de la materia orgánica a metano en los sistemas de tratamiento pedidos por el Software en la columna C de la hoja de cálculo en cuestión son valores por defecto tomados de la Ref. *Orientación del IPCC sobre las buenas prácticas y gestión de la incertidumbre en los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero* página 5.17. Finalmente se proporciona en nuestro caso el valor por defecto para el parámetro identificado como Máxima Capacidad de Producción de Metano expresado en kg CH₄/kg de BDO (por sus siglas en inglés) de la columna E, e igual a 0.6. El resultado de esta etapa es la obtención del factor de emisión de metano para las aguas residuales.

Los valores determinados para cada año de los inventarios considerados se presentan en el Anexo D.

En la etapa tres (STEP 3) se emplearon los mismos valores para los parámetros que para la etapa dos, con la diferencia que en esta etapa se refieren a los lodos separados de las propias aguas residuales. El resultado de esta etapa es igualmente un factor de emisión de metano de los lodos citados.

Finalmente en la etapa cuatro (STEP 4) el programa efectúa por sí mismo la incorporación de los valores obtenidos en los pasos anteriores referentes a la cantidad de materia orgánica en aguas residuales y lodos, así como sus correspondientes factores de emisión. Dando por resultado las emisiones de CH₄ provenientes de las aguas residuales municipales. Los pasos anteriores son reproducidos para cada año con su correspondiente información, la cual se obtiene de

FIGURA B.1 FLUJO DE AGUAS RESIDUALES, SISTEMAS DE TRATAMIENTO Y POTENCIAL DE EMISIONES DE CH₄.



Nota: Los cuadros con letras negrillas indican que existen emisiones de CH₄ en esos sitios.

los anuarios emitidos por la CNA y los censos y conteos efectuados por el INEGI.

B.4.3. Aguas Residuales Industriales.

De acuerdo al procedimiento general, el árbol de decisiones, indica que existen dos opciones para calcular las emisiones de metano de las aguas residuales industriales, considerando como medida para el control y aseguramiento de la calidad la reducción de la incertidumbre como en los casos anteriores, se tomó *la alternativa de efectuar el cálculo de las emisiones basada en el DQO de las industrias más importantes tratadas en el país, empleando el Software del PICC.*

El Software de la metodología PICC proporciona las hojas de trabajo identificadas como Worsheet 6-3 y STEP 1, STEP 2, STEP 3 y STEP 4.

En la etapa uno (STEP 1) que es prácticamente una lista de las principales industrias, solicita información sobre la producción anual de cada industria (ton/año), la cantidad de materia orgánica biodegradable contenida en sus aguas residuales (kg COD/m³ ó kg DQO/m³), volumen de aguas residuales (m³/ton de producto), y fracción de materia biodegradable con los lodos separados de las aguas residuales. El objetivo de esta tabla es el de determinar la cantidad de kg DQO/año (kg CDO/yr por sus siglas en inglés) tanto en las aguas residuales como en los lodos separados. La información disponi-

ble en nuestro país no existe para todos los años ni con las especificaciones citadas. Para llenar las columnas A, B y S de la Hoja de cálculo (Worsheet 6-3) del Software PICC, se combinaron con los valores por defecto del *Orientación del PICC sobre las buenas prácticas y gestión de la incertidumbre en los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero página 5.24, DATOS SOBRE LOS EFLUENTES INDUSTRIALES.*

En nuestro caso, la información disponible existe con todo detalle para todos los años considerados por lo que fue posible su agregación en los años donde la información fue incompleta. Esta información fue obtenida de las publicaciones anuales de la CNA que genera una gran cantidad de información pero con otros propósitos.

En la etapa dos (STEP 2) se obtiene el factor de emisión de metano en kg CH₄/kg COD para las aguas residuales, para lo cual se cargan datos tales como: tipo de sistema de manejo o tratamiento de las aguas residuales, fracción del agua tratada por cada uno de éstos sistema de manejo, y factor de conversión a metano de estos sistemas. En nuestro caso los valores correspondientes a las columnas A y B de esta Worksheet se presentaron como con tratamiento y sin tratamiento ya la mayor parte del agua es eliminada en cuerpos de agua como sistema de manejo, por lo que la fracción correspondiente es elevada (tabla B.6), y en la Columna C se uso un factor de conversión del 0.4.

TABLA B.6 INFORMACIÓN REQUERIDA POR LA METODOLOGÍA PARA EFECTUAR EL INVENTARIO DE EMISIONES DE METANO PROCEDENTES DE LAS AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES

PARÁMETRO	1990 ³	1992	1994	1996 ¹	1998 ¹	2000 ¹	2002 ^{1,2}	2003 ²
Caudal Recolectado en Alcantarillado m ³ /s	41.0	66.9	109.3	132.0	159.5	169.7	171.3	258.2
Caudal Tratado m ³ /s	10.0	12.9	16.6	21.4	21.9	25.3	26.2	27.4
No de plantas	282	---	1,151	1,255	1,354	1,399	1,448	1,579
Capacidad Diseño m ³ /s	20.0	---	21.5	22.7	29.3	26.9	34.3	35.9
DBO Generada 10 ⁶ Ton DBO/año	1.5 ⁴	---	4.0	---	---	---	6.3	9.5
DBO Removida 10 ⁶ Ton DBO/año	---	---	---	---	---	---	1.1	1.01
% Eficiencia Remoción DBO	---	---	---	---	---	---	17.4	10.6

Fuente: ¹Situación del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento, CNA, 1996, 1998, 2000, 2002.

²Estadísticas del Agua México, 2004 y 2005.

³Control de la Contaminación en México, Sedue, 1990.

⁴David Gidi Alfredo Fuad, SEDUE, Memoria VII Congreso Nacional SMISAAC, Sep 1990.

En la etapa tres (STEP 3) se siguen los mismos pasos que en la etapa anterior para obtener el factor de emisión de CH₄, con la diferencia de que está referido a los lodos. Por lo que las consideraciones y valores fueron los mismos que para la etapa dos .

Finalmente en la etapa cuatro (STEP 4) con los valores obtenidos en las etapas anteriores con el Software del PICC se obtienen de manera automática las emisiones de CH₄ producidas por las aguas residuales industriales.

B.4.4. Emisiones de CO₂ y N₂O Resultantes de la Incineración de Residuos Peligrosos.

El árbol de decisiones establece para las emisiones de CO₂ cuatro opciones: la primera empleando valores por defecto de residuos sólidos municipales para el contenido de carbón y fracción de carbón fósil; la segunda estimando las emisiones usando los valores por defecto del contenido de carbón y fracción de carbón fósil, la tercera para cada tipo de desecho usando el contenido de carbón específico del país y los valores por defecto para la fracción de carbón fósil, y la cuarta empleando los valores específicos de país tanto para el contenido de carbón como la fracción de carbón fósil.

En este inventario se aplicaron las opciones de cálculo uno y que consisten en aplicar los valores por defecto de los parámetros requeridos para residuos peligrosos por la siguiente ecuación y que fueron tomados de la tabla 8.4 propuesta por la metodología PICC.

Ecuación B.3

$$ECO_2 = IW \times CCW \times FCF \times EF \times 44/12$$

Donde:

ECO₂ = Emisiones de CO₂ (Gg/año).

IW = Cantidad de residuos peligrosos incinerados (Gg/año).

CCW = Contenido de carbón de los residuos hospitalarios.

FCF = Fracción del carbono fósil de los residuos peligrosos.

EF = Eficiencia de combustión del incinerador de residuos peligrosos.

44/12 = Factor de conversión de C a CO₂.

Los valores por defecto propuestos por la metodología para emisiones de CO₂ para residuos peligrosos se presentan a continuación (tabla C-5) tomados de la tabla 5-6 del *Good Practice Guidance and Uncertainty Management*.

Quedando la ecuación general como: ECO₂ = Gg/año x 0.5 x 0.9 x 0.95 x 44/12, variando exclusivamente el valor de Gg/año de acuerdo al año considerado.

Para las emisiones de N₂O el árbol de decisiones propone cuatro opciones de cálculo: la primera se refiere a la estimación de las emisiones empleando factores de emisión por defecto para residuos sólidos municipales; la segunda se refiere al empleo de factores de emisión para cada residuo propuestos por el PICC; la tercera propone el empleo de factores de emisión para cada residuo específico para cada país, y la cuarta propone el empleo de factores de emisión

TABLA B.7 VALORES POR DEFECTO PARA LA ESTIMACIÓN DE EMISIONES DE CO₂

VALORES POR DEFECTO	RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES	RESIDUOS PELIGROSOS
Contenido de Carbón	33 a 50% (húmedos) defecto: 40%	1 a 95% (materia seca) defecto: 50%
% de Carbón Fósil del Carbono Total	30 a 50% defecto: 40%	90-100 % defecto: 90%
Eficiencia de Combustión*	95 a 99% defecto: 95%	95-99.5% defecto: 99.5%

* Depende del diseño de la planta, mantenimiento y edad. Ref. Good Practice and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories IPCC Table 5-6.

para cada residuo determinado específicamente por medición.

Los valores por defecto se encuentran reportados en la tabla 5-7 del *Good Practice Guidance and Uncertainty Management*. Para el caso en cuestión se tomó un factor de emisión (EF) de 240 kg N₂O/Gg de desecho, para residuos peligrosos incinerados en horno rotatorio. Se aplicó la siguiente ecuación:

$$\text{Ecuación B.4} \\ \text{EN}_2\text{O} = \text{IW} \times \text{EF} \times 10^{-6}$$

Donde:

EN₂O = Emisiones de N₂O (Gg/año).

IW = Cantidad de residuos peligrosos incinerados (Gg/año).

EF = Factor de emisión para residuos peligrosos (240 kg N₂O/Gg de desecho)

En lo que respecta a la incineración de los residuos sólidos y de acuerdo a la información disponible, así como a los árboles de decisiones de la guía de las buenas prácticas, las soluciones empleadas para ambos tipos de emisiones CO₂ y N₂O, son las opciones 1 y 2 de acuerdo a los árboles de decisiones citados. La primera solución consiste en estimar las emisiones empleando

los valores por defecto considerando a los desechos como basura municipal, y la segunda solución propone emplear los valores por defecto para los desechos específicos de que se trate.

De acuerdo con la información disponible en el tema, la incineración controlada de residuos en nuestro país es reciente, de ahí que para el año de 1992 no existe información, y para 1994 a 2003 existe información con fines diferentes a los de este inventario. No obstante para mantener la consistencia del inventario se consideraron emisiones idénticas a las correspondientes para 1994 por este concepto.

Por lo que se determinaron las emisiones correspondientes para los años de 1994, 1996, 1998, 2000, 2002 y 2003 aplicando las ecuaciones B.3 y B.4 y empleando los factores por defecto tanto de contenido de carbón, fracción de carbón fósil, y eficiencia de combustión presentados en la tabla B.7, así como el factor de emisión de 240 kg N₂O/Gg de desecho para residuos peligrosos sugerido en la tabla 5-7 del *Good Practice Guidance and Uncertainty Management*.

Para determinar la cantidad de residuos peligrosos incinerados considerados por las dos ecuaciones B.3 y B.4, se realizó una estimación cuyos resultados se muestran en la siguiente tabla:

TABLA B.8 EMISIONES DE CO₂ RESULTANTES DE LA INCINERACIÓN DE RESIDUOS PELIGROSOS EMPLEANDO FACTORES POR DEFECTO

PARÁMETRO	1990	1992	1994	1996	1998	2000	2002	2003
Residuos Peligrosos Incinerados Gg/año ¹	---	---	2.075	5.753	47.155	67.199	62.127	84.760
Contenido de Carbón ²	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Fracción de Carbono Fósil ²	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
Eficiencia de Combustión ²	0.995	0.995	0.995	0.995	0.995	0.995	0.995	0.995
Factor de C a CO ₂	44/12	44/12	44/12	44/12	44/12	44/12	44/12	44/12
Emisiones de CO ₂	---	---	3.400	5.753	77.417	102.116	101.996	139.155

¹SEMARNAT. Listado de incineradores para el tratamiento de residuos peligrosos biológico infecciosos, por parte de empresas prestadoras de servicio. La capacidad de incineración es proporcionada por la fuente en kg/h, los cuales son transformados multiplicando por 7920 horas de operación por año considerados y divididos por 10⁶ para convertirlos de kg a Gg como se presentan en la tabla.

²Good Practice and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories IPCC Table 5-6. Emissions factors for N₂O from waste incineration.

Apéndice C

Estimación de las fuentes clave

Evaluación por Nivel

A	B	C	D	E	F	
1990		Eq. CO ₂	Eq. CO ₂			
CATEGORÍA DE FUENTE SEGÚN EL PICC	SECTOR	GASES DE EFECTO INVERNADERO DIRECTO	ESTIMACIÓN DEL AÑO BASE (Gg)	ESTIMACIÓN DEL AÑO EN CURSO (Gg)	EVALUACIÓN DEL NIVEL	TOTAL ACUMULADO DE LA COLUMNA E
Transporte	Energía	CO ₂	87784.474	87784.474	0.206428713	20.64%
Producción de electricidad	Energía	CO ₂	66719.168	66719.168	0.1568928	36.33%
Manufactura e industria de la construcción	Energía	CO ₂	56624.301	56624.301	0.133154316	49.65%
Fermentación entérica	Agricultura	CH ₄	38802.615	38802.615	0.091245905	58.77%
Refinación de petróleo	Energía	CO ₂	37987.856	37987.856	0.089329968	67.71%
Emisiones Fugitivas Petróleo y gas natural	Energía	CH ₄	30564.730	30564.730	0.07187419	74.89%
Residencial	Energía	CO ₂	18343.169	18343.169	0.043134698	79.21%
Disposición de residuos sólidos en suelo	Residuos	CH ₄	16294.383	16294.383	0.038316895	83.04%
Manejo y tratamiento de aguas residuales	Residuos	CH ₄	15476.076	15476.076	0.036392614	86.68%
Productos minerales	Procesos Industriales	CO ₂	15402.296	15402.296	0.036219117	90.30%
Producción de metales	Procesos Industriales	CO ₂	11792.283	11792.283	0.027730027	93.07%
Suelos agrícolas	Agricultura	N ₂ O	7100.481	7100.481	0.016697067	94.74%
Agricultura, pesca y forestal	Energía	CO ₂	4986.497	4986.497	0.011725947	95.91%

A	B	C	D	E	F	
		Eq. CO ₂	Eq. CO ₂			
1992						
CATEGORÍA DE FUENTE SEGÚN EL PICC	SECTOR	GASES DE EFECTO INVERNADERO DIRECTO	ESTIMACIÓN DEL AÑO BASE (Gg)	ESTIMACIÓN DEL AÑO EN CURSO (Gg)	EVALUACIÓN DEL NIVEL	TOTAL ACUMULADO DE LA COLUMNA E
Transporte	Energía	CO ₂	87784.474	94506.903	0.215925992	21.59%
Producción de electricidad	Energía	CO ₂	66719.168	67468.745	0.154150176	37.01%
Manufactura e industria de la construcción	Energía	CO ₂	56624.301	56598.105	0.129313326	49.94%
Refinación de petróleo	Energía	CO ₂	37987.856	38554.765	0.088088548	58.75%
Fermentación entérica	Agricultura	CH ₄	38802.615	37947.280	0.086700588	67.42%
Emisiones Fugitivas Petróleo y gas natural	Energía	CH ₄	30564.730	29409.105	0.067192871	74.14%
Residencial	Energía	CO ₂	18343.169	19518.851	0.044595972	78.60%
Disposición de residuos sólidos en suelo	Residuos	CH ₄	16294.383	19031.964	0.043483551	82.95%
Productos minerales	Procesos Industriales	CO ₂	15402.296	17352.302	0.039645919	86.91%
Manejo y tratamiento de aguas residuales	Residuos	CH ₄	15476.076	16242.030	0.037109209	90.62%
Producción de metales	Procesos Industriales	CO ₂	11792.283	10799.759	0.024674903	93.09%
Suelos agrícolas	Agricultura	N ₂ O	7100.481	6631.854	0.015152223	94.60%
Comercio y sectores institucionales	Energía	CO ₂	3718.651	5355.709	0.012236531	95.83%

A	B	C	D	E	F	
			Eq. CO ₂	Eq. CO ₂		
1994						
CATEGORÍA DE FUENTE SEGÚN EL PICC	SECTOR	GASES DE EFECTO INVERNADERO DIRECTO	ESTIMACIÓN DEL AÑO BASE (Gg)	ESTIMACIÓN DEL AÑO EN CURSO (Gg)	EVALUACIÓN DEL NIVEL	TOTAL ACUMULADO DE LA COLUMNA E
Transporte	Energía	CO ₂	87784.474	101258.815	0.213402761	21.34%
Producción de electricidad	Energía	CO ₂	66719.168	83739.531	0.176480903	38.99%
Manufactura e industria de la construcción	Energía	CO ₂	56624.301	51298.339	0.108111152	49.80%
Fermentación entérica	Agricultura	CH ₄	38802.615	37255.069	0.078514987	57.65%
Refinación de petróleo	Energía	CO ₂	37987.856	37161.458	0.078317702	65.48%
Emisiones Fugitivas Petróleo y gas natural	Energía	CH ₄	30564.730	32239.184	0.067944019	72.28%
Disposición de residuos sólidos en suelo	Residuos	CH ₄	16294.383	23574.264	0.049682717	77.25%
Manejo y tratamiento de aguas residuales	Residuos	CH ₄	15476.076	21548.772	0.045413996	81.79%
Residencial	Energía	CO ₂	18343.169	20245.892	0.042668179	86.05%
Productos minerales	Procesos Industriales	CO ₂	15402.296	19885.385	0.041908411	90.24%
Producción de metales	Procesos Industriales	CO ₂	11792.283	14414.533	0.030378601	93.28%
Suelos agrícolas	Agricultura	N ₂ O	7100.481	6790.827	0.014311655	94.71%
Comercio y sectores institucionales	Energía	CO ₂	3718.651	6175.762	0.013015407	96.02%

A	B	C	D	E	F	
1996			Eq. CO ₂	Eq. CO ₂		
CATEGORÍA DE FUENTE SEGÚN EL PICC	SECTOR	GASES DE EFECTO INVERNADERO DIRECTO	ESTIMACIÓN DEL AÑO BASE (Gg)	ESTIMACIÓN DEL AÑO EN CURSO (Gg)	EVALUACIÓN DEL NIVEL	TOTAL ACUMULADO DE LA COLUMNA E
Transporte	Energía	CO ₂	87784.474	97502.320	0.199339389	19.93%
Producción de electricidad	Energía	CO ₂	66719.168	82255.449	0.168167804	36.75%
Manufactura e industria de la construcción	Energía	CO ₂	56624.301	56709.922	0.115941049	48.34%
Refinación de petróleo	Energía	CO ₂	37987.856	37876.252	0.077436403	56.09%
Fermentación entérica	Agricultura	CH ₄	38802.615	35752.478	0.073094436	63.40%
Emisiones Fugitivas Petróleo y gas natural	Energía	CH ₄	30564.730	35728.733	0.07304589	70.70%
Disposición de residuos sólidos en suelo	Residuos	CH ₄	16294.383	27975.213	0.057194145	76.42%
Manejo y tratamiento de aguas residuales	Residuos	CH ₄	15476.076	23113.356	0.047254283	81.15%
Residencial	Energía	CO ₂	18343.169	21050.034	0.043035908	85.45%
Productos minerales	Procesos Industriales	CO ₂	15402.296	19824.549	0.040530456	89.50%
Producción de metales	Procesos Industriales	CO ₂	11792.283	15945.614	0.032600137	92.76%
Suelos agrícolas	Agricultura	N ₂ O	7100.481	6906.189	0.014119412	94.18%
Comercio y sectores institucionales	Energía	CO ₂	3718.651	6171.350	0.012617065	95.44%

A	B	C	D	E	F	
1998			Eq. CO ₂	Eq. CO ₂		
CATEGORÍA DE FUENTE SEGÚN EL PICC	SECTOR	GASES DE EFECTO INVERNADERO DIRECTO	ESTIMACIÓN DEL AÑO BASE (Gg)	ESTIMACIÓN DEL AÑO EN CURSO (Gg)	EVALUACIÓN DEL NIVEL	TOTAL ACUMULADO DE LA COLUMNA E
Transporte	Energía	CO ₂	87784.474	104800.603	0.189450012	18.95%
Producción de electricidad	Energía	CO ₂	66719.168	100710.251	0.182055806	37.15%
Manufactura e industria de la construcción	Energía	CO ₂	56624.301	59156.922	0.106939075	47.84%
Refinación de petróleo	Energía	CO ₂	37987.856	48647.907	0.087941732	56.64%
Emisiones Fugitivas Petróleo y gas natural	Energía	CH ₄	30564.730	38888.385	0.070299261	63.67%
Fermentación entérica	Agricultura	CH ₄	38802.615	36548.342	0.066069121	70.28%
Disposición de residuos sólidos en suelo	Residuos	CH ₄	16294.383	33196.926	0.060010705	76.28%
Manejo y tratamiento de aguas residuales	Residuos	CH ₄	15476.076	27529.509	0.049765609	81.25%
Productos minerales	Procesos Industriales	CO ₂	15402.296	26089.153	0.04716185	85.97%
Residencial	Energía	CO ₂	18343.169	21397.041	0.038679832	89.84%
Producción de metales	Procesos Industriales	CO ₂	11792.283	17864.097	0.032293263	93.07%
Suelos agrícolas	Agricultura	N ₂ O	7100.481	7441.209	0.013451613	94.41%
Comercio y sectores institucionales	Energía	CO ₂	3718.651	6752.395	0.01220643	95.63%

A	B	C	D	E	F	
2000			Eq. CO ₂	Eq. CO ₂		
CATEGORÍA DE FUENTE SEGÚN EL PICC	SECTOR	GASES DE EFECTO INVERNADERO DIRECTO	ESTIMACIÓN DEL AÑO BASE (Gg)	ESTIMACIÓN DEL AÑO EN CURSO (Gg)	EVALUACIÓN DEL NIVEL	TOTAL ACUMULADO DE LA COLUMNA E
Transporte	Energía	CO ₂	87784.474	110607.963	0.196398688	19.64%
Producción de electricidad	Energía	CO ₂	66719.168	110538.546	0.19627543	39.27%
Manufactura e industria de la construcción	Energía	CO ₂	56624.301	54204.067	0.096246305	48.89%
Refinación de petróleo	Energía	CO ₂	37987.856	46301.474	0.082214233	57.11%
Emisiones Fugitivas Petróleo y gas natural	Energía	CH ₄	30564.730	38281.739	0.06797416	63.91%
Fermentación entérica	Agricultura	CH ₄	38802.615	36321.149	0.06449288	70.36%
Disposición de residuos sólidos en suelo	Residuos	CH ₄	16294.383	32467.575	0.057650362	76.13%
Productos minerales	Procesos Industriales	CO ₂	15402.296	30111.494	0.053466837	81.47%
Manejo y tratamiento de aguas residuales	Residuos	CH ₄	15476.076	28745.409	0.051041177	86.58%
Residencial	Energía	CO ₂	18343.169	19505.742	0.034634957	90.04%
Producción de metales	Procesos Industriales	CO ₂	11792.283	19108.149	0.03392898	93.43%
Suelos agrícolas	Agricultura	N ₂ O	7100.481	7800.501	0.013850794	94.82%
Agricultura, pesca y forestal	Energía	CO ₂	4986.497	6302.410	0.01119074	95.94%

A	B	C	D	E	F	
2002			Eq. CO ₂	Eq. CO ₂		
CATEGORÍA DE FUENTE SEGÚN EL PICC	SECTOR	GASES DE EFECTO INVERNADERO DIRECTO	ESTIMACIÓN DEL AÑO BASE (Gg)	ESTIMACIÓN DEL AÑO EN CURSO (Gg)	EVALUACIÓN DEL NIVEL	TOTAL ACUMULADO DE LA COLUMNA E
Producción de electricidad	Energía	CO ₂	66719.168	115449.087	0.208664335	20.87%
Transporte	Energía	CO ₂	87784.474	111959.959	0.202358036	41.10%
Manufactura e industria de la construcción	Energía	CO ₂	56624.301	51025.368	0.092223982	50.32%
Fermentación entérica	Agricultura	CH ₄	38802.615	37366.876	0.067537428	57.08%
Refinación de petróleo	Energía	CO ₂	37987.856	37020.277	0.06691098	63.77%
Emisiones Fugitivas Petróleo y gas natural	Energía	CH ₄	30564.730	36690.761	0.066315408	70.40%
Disposición de residuos sólidos en suelo	Residuos	CH ₄	16294.383	34960.611	0.06318831	76.72%
Productos minerales	Procesos Industriales	CO ₂	15402.296	30618.698	0.055340674	82.25%
Manejo y tratamiento de aguas residuales	Residuos	CH ₄	15476.076	28566.615	0.05163171	87.42%
Residencial	Energía	CO ₂	18343.169	19277.118	0.03484174	90.90%
Producción de metales	Procesos Industriales	CO ₂	11792.283	15322.440	0.027693998	93.67%
Suelos agrícolas	Agricultura	N ₂ O	7100.481	7449.319	0.013464006	95.02%
Agricultura, pesca y forestal	Energía	CO ₂	4986.497	5883.832	0.010634522	96.08%

Evaluación por Tendencia

A	B	C	D	E	F	G	
1992							
CATEGORÍA DE FUENTE SEGÚN EL PICC	SECTOR	GASES DE EFECTO INVERNADERO DIRECTO	ESTIMACIÓN DEL AÑO BASE (Gg)	ESTIMACIÓN DEL AÑO EN CURSO (Gg)	EVALUACIÓN DE LA TENDENCIA	% DE CONTRIBUCIÓN A LA TENDENCIA	TOTAL ACUMULADO DE LA COLUMNA F
Transporte	Energía	CO ₂	87784.474	94506.903	0.201	20.64%	20.64%
Producción de electricidad	Energía	CO ₂	66719.168	67468.745	0.152	15.69%	36.33%
Manufactura e industria de la construcción	Energía	CO ₂	56624.301	56598.105	0.129	13.31%	49.64%
Fermentación entérica	Agricultura	CH ₄	38802.615	37947.280	0.089	9.12%	58.77%
Refinación de petróleo	Energía	CO ₂	37987.856	38554.765	0.087	8.93%	67.70%
Emisiones Fugitivas							
Petróleo y gas natural	Energía	CH ₄	30564.730	29409.105	0.070	7.19%	74.89%
Residencial	Energía	CO ₂	18343.169	19518.851	0.042	4.31%	79.20%
Disposición de residuos sólidos en suelo	Residuos	CH ₄	16294.383	19031.964	0.037	3.83%	83.03%
Manejo y tratamiento de aguas residuales	Residuos	CH ₄	15476.076	16242.030	0.035	3.64%	86.67%
Productos minerales	Procesos Industriales	CO ₂	15402.296	17352.302	0.035	3.62%	90.29%
Producción de metales	Procesos Industriales	CO ₂	11792.283	10799.759	0.027	2.77%	93.06%
Suelos agrícolas	Agricultura	N ₂ O	7100.481	6631.854	0.016	1.67%	94.73%
Agricultura, pesca y forestal	Energía	CO ₂	4986.497	5170.341	0.011	1.17%	95.91%

A	B	C	D	E	F	G	
1994							
CATEGORÍA DE FUENTE SEGÚN EL PICC	SECTOR	GASES DE EFECTO INVERNADERO DIRECTO	ESTIMACIÓN DEL AÑO BASE (Gg)	ESTIMACIÓN DEL AÑO EN CURSO (Gg)	EVALUACIÓN DE LA TENDENCIA	% DE CONTRIBUCIÓN A LA TENDENCIA	TOTAL ACUMULADO DE LA COLUMNA F
Manufactura e industria							
de la construcción	Energía	CO ₂	56624.301	51298.339	0.022	20.53%	20.53%
Producción de electricidad	Energía	CO ₂	66719.168	83739.531	0.018	16.08%	36.60%
Fermentación entérica	Agricultura	CH ₄	38802.615	37255.069	0.011	10.43%	47.04%
Disposición de residuos sólidos en suelo	Residuos	CH ₄	16294.383	23574.264	0.010	9.32%	56.36%
Refinación de petróleo	Energía	CO ₂	37987.856	37161.458	0.010	9.02%	65.38%
Manejo y tratamiento de aguas residuales	Residuos	CH ₄	15476.076	21548.772	0.008	7.40%	72.79%
Transporte	Energía	CO ₂	87784.474	101258.815	0.006	5.74%	78.52%
Productos minerales	Procesos Industriales	CO ₂	15402.296	19885.385	0.005	4.67%	83.19%
Comercio y sectores institucionales	Energía	CO ₂	3718.651	6175.762	0.004	3.50%	86.69%
Emisiones Fugitivas Petróleo y gas natural	Energía	CH ₄	30564.730	32239.184	0.004	3.22%	89.91%
Producción de metales	Procesos Industriales	CO ₂	11792.283	14414.533	0.002	2.17%	92.08%
Suelos agrícolas	Agricultura	N ₂ O	7100.481	6790.827	0.002	1.95%	94.04%
Industria química	Procesos Industriales	CO ₂	3948.300	3701.850	0.001	1.22%	95.25%

A	B	C	D	E	F	G	
1996							
CATEGORÍA DE FUENTE SEGÚN EL PICC	SECTOR	GASES DE EFECTO INVERNADERO DIRECTO	ESTIMACIÓN DEL AÑO BASE (Gg)	ESTIMACIÓN DEL AÑO EN CURSO (Gg)	EVALUACIÓN DE LA TENDENCIA	% DE CONTRIBUCIÓN A LA TENDENCIA	TOTAL ACUMULADO DE LA COLUMNA F
Disposición de residuos sólidos en suelo	Residuos	CH ₄	16294.383	27975.213	0.016	15.47%	15.47%
Fermentación entérica	Agricultura	CH ₄	38802.615	35752.478	0.016	14.87%	30.34%
Manufactura e industria de la construcción	Energía	CO ₂	56624.301	56709.922	0.015	14.09%	44.43%
Refinación de petróleo	Energía	CO ₂	37987.856	37876.252	0.010	9.74%	54.17%
Producción de electricidad	Energía	CO ₂	66719.168	82255.449	0.010	9.25%	63.42%
Manejo y tratamiento de aguas residuales	Residuos	CH ₄	15476.076	23113.356	0.009	8.90%	72.32%
Transporte	Energía	CO ₂	87784.474	97502.320	0.006	5.79%	78.11%
Producción de metales	Procesos Industriales	CO ₂	11792.283	15945.614	0.004	3.99%	82.11%
Productos minerales	Procesos Industriales	CO ₂	15402.296	19824.549	0.004	3.54%	85.64%
Comercio y sectores institucionales	Energía	CO ₂	3718.651	6171.350	0.003	3.17%	88.81%
Consumo de halocarbonos y hexafluoruro de azufre	Procesos Industriales	HFCs	40.352	1469.776	0.003	2.38%	91.20%
Suelos agrícolas	Agricultura	N ₂ O	7100.481	6906.189	0.002	2.11%	93.31%
Industria química	Procesos Industriales	CO ₂	3948.300	3749.550	0.001	1.33%	94.63%
Emisiones Fugitivas Petróleo y gas natural	Energía	CH ₄	30564.730	35728.733	0.001	0.97%	95.60%

A	B	C	D	E	F	G	
1998							
CATEGORÍA DE FUENTE SEGÚN EL PICC	SECTOR	GASES DE EFECTO INVERNADERO DIRECTO	ESTIMACIÓN DEL AÑO BASE (Gg)	ESTIMACIÓN DEL AÑO EN CURSO (Gg)	EVALUACIÓN DE LA TENDENCIA	% DE CONTRIBUCIÓN A LA TENDENCIA	TOTAL ACUMULADO DE LA COLUMNA F
Manufactura e industria							
de la construcción	Energía	CO ₂	56624.301	59156.922	0.020	14.87%	14.87%
Producción de electricidad	Energía	CO ₂	66719.168	100710.251	0.019	14.29%	29.15%
Fermentación entérica	Agricultura	CH ₄	38802.615	36548.342	0.019	14.28%	43.43%
Disposición de residuos sólidos en suelo	Residuos	CH ₄	16294.383	33196.926	0.017	12.31%	55.75%
Transporte	Energía	CO ₂	87784.474	104800.603	0.013	9.62%	65.37%
Manejo y tratamiento de aguas residuales	Residuos	CH ₄	15476.076	27529.509	0.010	7.59%	72.96%
Productos minerales	Procesos Industriales	CO ₂	15402.296	26089.153	0.008	6.21%	79.17%
Consumo de halocarbonos y hexafluoruro de azufre	Procesos Industriales	HFCs	40.352	2770.647	0.004	2.79%	81.96%
Producción de metales	Procesos Industriales	CO ₂	11792.283	17864.097	0.004	2.59%	84.55%
Residencial	Energía	CO ₂	18343.169	21397.041	0.003	2.53%	87.07%
Industria química	Procesos Industriales	CO ₂	3948.300	2791.990	0.003	2.40%	89.48%
Comercio y sectores institucionales	Energía	CO ₂	3718.651	6752.395	0.003	1.96%	91.44%
Suelos agrícolas	Agricultura	N ₂ O	7100.481	7441.209	0.002	1.84%	93.28%
Emissiones Fugitivas Petróleo y gas natural	Energía	CO ₂	325.733	2011.881	0.002	1.63%	94.91%
Emissiones Fugitivas Petróleo y gas natural	Energía	CH ₄	30564.730	38888.385	0.001	0.89%	95.80%

A	B	C	D	E	F	G	
2000							
CATEGORÍA DE FUENTE SEGÚN EL PICC	SECTOR	GASES DE EFECTO INVERNADERO DIRECTO	ESTIMACIÓN DEL AÑO BASE (Gg)	ESTIMACIÓN DEL AÑO EN CURSO (Gg)	EVALUACIÓN DE LA TENDENCIA	% DE CONTRIBUCIÓN A LA TENDENCIA	TOTAL ACUMULADO DE LA COLUMNA F
Producción de electricidad	Energía	CO ₂	66719.168	110538.546	0.030	18.13%	18.13%
Manufactura e industria	Energía	CO ₂	56624.301	54204.067	0.028	16.98%	35.11%
de la construcción	Agricultura	CH ₄	38802.615	36321.149	0.020	12.31%	47.42%
Fermentación entérica	Residuos	CH ₄	16294.383	32467.575	0.015	8.90%	56.32%
Disposición de residuos sólidos en suelo	Procesos						
Productos minerales	Industriales	CO ₂	15402.296	30111.494	0.013	7.94%	64.26%
Manejo y tratamiento de aguas residuales	Residuos	CH ₄	15476.076	28745.409	0.011	6.74%	71.00%
Transporte	Energía	CO ₂	87784.474	110607.963	0.008	4.61%	75.61%
Residencial	Energía	CO ₂	18343.169	19505.742	0.006	3.91%	79.51%
Consumo de halocarbonos y hexafluoruro de azufre	Procesos						
Industria química	Industriales	HFCs	40.352	4413.991	0.006	3.56%	83.08%
Refinación de petróleo	Procesos						
Producción de metales	Industriales	CO ₂	3948.300	1222.500	0.005	3.27%	86.35%
Emisiones Fugitivas Petróleo y gas natural	Energía	CO ₂	37987.856	46301.474	0.005	3.27%	89.62%
Suelos agrícolas	Industriales	CO ₂	11792.283	19108.149	0.005	2.85%	92.48%
	Energía	CH ₄	30564.730	38281.739	0.003	1.79%	94.27%
	Agricultura	N ₂ O	7100.481	7800.501	0.002	1.31%	95.58%

A	B	C	D	E	F	G	
2000							
CATEGORÍA DE FUENTE SEGÚN EL PICC	SECTOR	GASES DE EFECTO INVERNADERO DIRECTO	ESTIMACIÓN DEL AÑO BASE (Gg)	ESTIMACIÓN DEL AÑO EN CURSO (Gg)	EVALUACIÓN DE LA TENDENCIA	% DE CONTRIBUCIÓN A LA TENDENCIA	TOTAL ACUMULADO DE LA COLUMNA F
Producción de electricidad	Energía	CO ₂	66719.168	115449.087	0.040	21.19%	21.19%
Manufactura e industria de la construcción	Energía	CO ₂	56624.301	51025.368	0.031	16.74%	37.93%
Disposición de residuos sólidos en suelo	Residuos	CH ₄	16294.383	34960.611	0.019	10.18%	48.11%
Fermentación entérica	Agricultura	CH ₄	38802.615	37366.876	0.018	9.70%	57.81%
Refinación de petróleo	Energía	CO ₂	37987.856	37020.277	0.017	9.17%	66.98%
Productos minerales	Procesos Industriales	CO ₂	15402.296	30618.698	0.015	7.83%	74.80%
Manejo y tratamiento de aguas residuales	Residuos	CH ₄	15476.076	28566.615	0.012	6.24%	81.04%
Residencial	Energía	CO ₂	18343.169	19277.118	0.006	3.39%	84.43%
Consumo de halocarbonos y hexafluoruro de azufre	Procesos Industriales	HFCs	40.352	4425.158	0.006	3.23%	87.67%
Industria química	Procesos Industriales	CO ₂	3948.300	1128.000	0.006	2.96%	90.63%
Emisiones Fugitivas Petróleo y gas natural	Energía	CH ₄	30564.730	36690.761	0.004	2.27%	92.90%
Transporte	Energía	CO ₂	87784.474	111959.959	0.003	1.66%	94.56%
Suelos agrícolas	Agricultura	N ₂ O	7100.481	7449.319	0.002	1.32%	95.88%

Apéndice D

Estimación de las incertidumbres

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
Categoría de fuente del IPCC	Gas	Emisiones año base	Emisiones año t	Incidencia en los datos de actividad	Incidencia en el factor de emisión	Incidencia combinada	Incidencia combinada como % del total de emisiones nacionales en el año t	Sensibilidad de tipo A	Sensibilidad de tipo B	Incidencia en las emisiones nacionales introducida por la incidencia en el factor de emisión	Incidencia en las emisiones nacionales introducida por la incidencia en los datos de actividad	Incidencia en las emisiones nacionales introducida en la tendencia en las emisiones nacionales totales
		Datos de entrada	Datos de entrada	Cuentas de entrada	Datos de entrada	$7E^2 + F^2$	G.T.D.	Nota B	D	17 F	J7E77Z	$7K^2 + L^2$
		Gg equivalente CO ₂	Gg equivalente CO ₂	%	%	%	TD	%	%	Nota C	Nota D	%
1.A.1 Carbón	CO ₂	7.211	28.643	1	5	5.10	0.29	0.05	0.07	0.24	0.10	0.26
1.A.1 Petróleo	CO ₂	72.889	64.519	1	5	5.10	0.65	-0.07	0.16	-0.35	0.23	0.42
1.A.1 GN	CO ₂	24.807	63.425	1	5	5.10	0.64	0.08	0.16	0.40	0.23	0.46
1A2 Carbon	CO ₂	6.609	7.439	3	5	5.83	0.09	-0.00	0.02	-0.01	0.08	0.08
1A2 Petróleo	CO ₂	24.511	21.271	3	5	5.83	0.25	-0.02	0.05	-0.12	0.23	0.26
1A2 GN	CO ₂	25.304	21.420	3	5	5.83	0.25	-0.03	0.05	-0.13	0.23	0.26
1A4a Petróleo	CO ₂	4.098	4.098	5	5	7.07	0.96	-0.01	0.01	-0.00	0.07	0.07
1A4a GN	CO ₂	-	368	5	5	7.07	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01
1A4b Petróleo	CO ₂	18.450	18.252	5	5	7.07	0.26	-0.01	0.05	-0.03	0.01	0.01
1A4b GN	CO ₂	1.883	1.635	5	5	7.07	0.02	-0.00	0.00	-0.01	0.03	0.03
1A4c Petróleo	CO ₂	4866	6245	5	5	7.07	0.98	-0.00	0.02	0.00	0.11	0.11
1A4c GN	CO ₂	188.379	237.341	1	100	100.00	0.00	0.00	0.0000	0.0008	0.0000	0.0008
1.A.1 Petróleo	CH ₄	1.540	4.540	1	100	100.00	0.90	-0.00	0.0000	-0.0018	0.0001	0.0018
1.A.1 GN	CH ₄	18.279	18.033	1	100	100.00	0.90	0.00	0.0000	0.0003	0.0000	0.0003
1A2 Carbon	CH ₄	0.533	3.368	1	100	100.00	0.90	-0.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
1A2 Petróleo	CH ₄	0.944	1.048	3	100	100.04	0.90	-0.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
1A2 GN	CH ₄	20.461	18.747	3	100	100.04	0.90	-0.00	0.0000	-0.0023	0.0002	0.0023
1A2 Biomasa	CH ₄	13.528	11.298	3	100	100.04	0.90	-0.00	0.0000	-0.0014	0.0001	0.0014
1A4a Petróleo	CH ₄	45.606	54.734	30	100	154.49	0.91	-0.00	0.0001	-0.0009	0.0000	0.0009
1A4a GN	CH ₄	10.093	0.688	5	100	150.12	0.90	-0.00	0.0000	-0.0001	0.0000	0.0001
1A4b Petróleo	CH ₄	0.166	0.166	5	100	150.12	0.90	-0.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
1A4b GN	CH ₄	55.048	61.354	5	100	150.12	0.91	-0.00	0.0002	-0.0022	0.0011	0.0022
1A4c Biomasa	CH ₄	3.952	3.076	5	100	150.12	0.90	-0.00	0.0000	-0.0004	0.0001	0.0004
1A4c Petróleo	CH ₄	14.78409	18.17475	60	100	118.62	0.37	-0.00	0.0041	-0.0655	0.3445	0.3507
1A4c GN	CH ₄	7.105	8.067	5	100	150.12	0.90	-0.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
1A4c Biomasa	CH ₄	1.656187	1.811567	1	1000	1000.00	0.30	0.00	0.0004	0.2618	0.0005	0.2618
1.A.1 Carbón	N ₂ O	381.474	153.184	1	1000	1000.00	0.16	-0.00	0.0000	-0.0890	0.0000	0.0890
1.A.1 Petróleo	N ₂ O	89.943	78.794	1	1000	1000.00	0.07	0.00	0.0001	0.0445	0.0001	0.0445
1.A.1 GN	N ₂ O	13.727	35.228	1	1000	1000.00	0.07	0.00	0.0001	-0.0128	0.0001	0.0128
1A2 Carbon	N ₂ O	31.861	35.369	3	1000	1000.00	0.07	-0.00	0.0001	-0.0128	0.0001	0.0128
1A2 Petróleo	N ₂ O	30.205	24.721	3	1000	1000.00	0.05	-0.00	0.0001	-0.0143	0.0001	0.0143
1A2 GN	N ₂ O	14.053	11.809	3	1000	1000.00	0.02	-0.00	0.0000	-0.0149	0.0001	0.0149
1A2 Biomasa	N ₂ O	90.355	107.73	30	1000	1000.45	0.02	-0.00	0.0003	-0.0117	0.0001	0.0117
1A4a Petróleo	N ₂ O	9.727	12.105	5	1000	1000.21	0.02	-0.00	0.0000	-0.0007	0.0000	0.0007
1A4a GN	N ₂ O	0	4.698	5	1000	1000.21	0.01	0.00	0.0000	0.0118	0.0001	0.0118
1A4b Petróleo	N ₂ O	48.756	54.342	5	1000	1000.21	0.11	-0.00	0.0001	-0.0191	0.0010	0.0191
1A4b GN	N ₂ O	1.052	0.928	5	1000	1000.21	0.00	-0.00	0.0000	-0.0011	0.0000	0.0011
1A4c Biomasa	N ₂ O	290.868	318.26	60	1000	1001.80	0.63	-0.00	0.0008	-0.1288	0.0678	0.1458
1A4c Petróleo	N ₂ O	12.228	16.261	5	1000	1000.21	0.03	-0.00	0.0000	-0.0003	0.0000	0.0003
1A4c GN	N ₂ O	871.829	853.295	5	1000	1000.21	0.03	-0.00	0.0000	-0.0003	0.0000	0.0003
Emisiones totales		180,707	240,026				1.337					0.97

Fuentes fijas y de área

1A3b	Autotransporte a Gasolina	CO ₂	57487.658	71491.71853	1.3000	6.7000	6.8250	0.96	-0.00	0.18	-0.03	0.33	0.33
1A3b	Autotransporte a Diesel	CO ₂	21546.918	27055.6075	1.3000	1.7000	2.1401	0.11	-0.00	0.07	0.00	0.12	0.12
1A3a	Aéreo	CO ₂	4063.83214	6272.430611	22.4000	5.0000	22.9513	0.28	0.00	0.02	0.01	0.50	0.50
Nacional	1A3b	CO ₂	923.7428	3258.681855	22.0000	5.0000	22.5610	0.15	0.01	0.01	0.03	0.25	0.26
1A3	Marítimo	CO ₂	1808.258377	2284.920246	50.0000	5.0000	50.2494	0.23	-0.00	0.01	0.00	0.41	0.41
Nacional	1A3b	N ₂ O	390.8929455	1642.099719	5.0000	50.0000	50.2494	0.16	0.00	0.00	0.14	0.03	0.15
Gasolina													
			7C	7D				77 H2					77 M2
Total			86221.30226	112005.4585				1.060					0.79
Transporte													

1.B.1	al Minas Subterráneas	CH ₄	1237.383	1341.968	20	55	58.52349955	0.16	-0.00	0.00	-0.031761086	0.095279982	0.100434264
1.B.1	al Minas en Superficie	CH ₄	35.625	55.126	20	55	58.52349955	0.01	0.00	0.00	0.001362199	0.003913956	0.00414423
1.B.2	a Petróleo	CH ₄	404.689	486.152	20	55	58.52349955	0.06	-0.00	0.00	-0.003863209	0.034516894	0.034732401
1.B.2	b Gas Natural	CH ₄	6648.041	8925.497	20	55	58.52349955	1.03	0.00	0.02	0.06619683	0.633711974	0.637160016
1.B.2	c Venteeo y Combustión en quemadores	CH ₄	23512	27280.762	20	55	58.52349955	3.15	-0.01	0.07	-0.357353327	1.936939258	1.96962816
			7C	7D				77 H2					77 M2
Total			31837.738	38089.505				3.323269403					2.072852752
Emisiones fugitivas													

2A1	Producción de cemento	CO ₂	9,450	12,619	?D	31486	Procesos Industriales				0.758537631	0.046176819	0	0.046176819	0.046176819	0	0.046176819		
2A2	Producción de óxido e hidróxido de calcio	CO ₂	2,175	2,617	?D	31486	0	30	30	11	0.06	-0.00	0.01	-0.004037037	0	0.004037037	0.004037037		
2C1	Producción de hierro y acero	CO ₂	12,348	16,250	?D	31486	0	3.5	3.5	3.5	0.11	0.00	0.04	0.004941248	0	0.004941248	0.004941248		
Total			23973	?C	31486						0.758537631						?? M2	0.046615579	
4A	Fermentación Entréricas	CH ₄	38802.61	37366.88	?D	31486	20	20	20	20	28.28	2.09	-0.03	0.09	-0.60	2.65			
4B	Manejo de estiércol	CH ₄	1167.29	1154.45	?D	31486	20	20	20	20	28.28	0.06	-0.00	0.00	-0.02	0.08			
4B	Manejo de estiércol	N ₂ O	6.26	6.14	?D	31486	20	20	20	20	28.28	0.00	-0.00	0.00	0.00	0.00			
4C	Cultivo de arroz	CH ₄	310.08	122.79	?D	31486	20	20	20	20	28.28	0.01	-0.00	0.00	-0.01	0.01			
4D	Suelos agrícolas	N ₂ O	7099.52	7449.32	?D	31486	20	20	20	20	28.28	0.42	-0.00	0.02	-0.08	0.53			
4E	Quemas programadas de suelos	CO ₂	0.00	0.00	?D	31486	20	20	20	20	28.28	-	-	0.00	0.00	0.00			
4F	Quemas insitu de residuos agrícolas	CH ₄	32.76	37.46	?D	31486	20	20	20	20	28.28	0.00	-0.00	0.00	0.00	0.00			
4F	Quemas insitu de residuos agrícolas	N ₂ O	7.98	9.12	?D	31486	20	20	20	20	28.28	0.00	-0.00	0.00	0.00	0.00			
Total			39969.90	?C	38521.32							?? H2						2.13	
										Agricultura									

Residuos Sólidos Municipales	CH ₄	16293.90	34960.80	3.6895122	50.6995562	50.83362567	3.51	0.04	0.09	1.814141888	0.457909677	1.871040368
Agua Residuales Municipales	CH ₄	9366.00	11035.50	10.036558	41.872306	43.05836163	0.94	-0.00	0.03	-0.090736086	0.393193494	0.40352715
Agua Residuales Industriales	CH ₄	6111.00	17531.35	8.25	50.695562	51.36246204	1.78	0.02	0.04	1.24282252	0.513450663	1.344707923
Total		7C 25659.9	7D 45996.3		Desechos		7? H2 4.047					7? M2 2.339
Gran Total		7C 396,368.96	7D 506,104.54		Inventario Nacional		7? H2 5.958					7? M2 4.363

Cambio de biomasa en bosques y otros tipos de vegetación	CO ₂	4932	4932	11	21	23.7	0.2	0.0	0.0	-0.1	0.2	0.2
Bloqueo de carbono proveniente de la conversión de bosques y pastizales	CO ₂	63609	63609		13	13	1.4	0.0	0.1	-0.4	0.2	0.5
Abandono de áreas manejadas		-27709	-27709		35.6	35.6	-1.6	0.0	-0.1	0.5	-0.1	0.5
Cambios en el carbono de suelos minerales		30278	30278		83.5	83.5	4.2	0.0	0.1	-1.3	0.1	1.3
Total		7C 71110	7D 71110		USCUSS		7? H2 4.714					7? M2 1.476
Gran Total		7C 483,048.57	7D 602,370.73		Inventario Nacional		7? H2 6.876					7? M2 3.899

Información del Documento

Formato

MARC ,*Campo, valor*

008/11, *País, mx*

008/35-37, *Idioma, spa*

100, *Autor*, Coordinación del Programa de Cambio Climático

110, *Autor Institucional*, Instituto Nacional de Ecología

245, *Título*, Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero 2002

740, *Otro título*, INEGEI 2002

260, *Lugar, editor y fecha*, México D.F. a 2 de octubre de 2006.

300, *Descripción física*, 344 p

355, *Seguridad*, 0

400, *Serie o colección*, Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero

520, *Resumen*, Las emisiones de GEI para México en el 2002 fueron de 643,183 Gg en equivalentes de CO₂.

653, *Palabras clave*, INEGEI 2002, gases de efecto invernadero

710, *Coautores institucionales*, Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE), Instituto Mexicano del Petróleo (IMP), Centro de Investigaciones en Ecosistemas, Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico (CENIDET), Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR), Colegio de Posgraduados (COLPOS), Instituto de Ingeniería de la (II-UNAM), Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP).

852, *Ubicación*, Coordinación del Programa de Cambio Climático, INE, Piso 5,

856, *Localización electrónica*, www.ine.gob.mx

270, *Dirección*, Julia Martínez, e-mail jmartine@ine.gob.mx, Coordinación del Programa de Cambio Climático, INE, Periférico Sur 5000, Piso 5. México DF, C.P. 04530, tel: (52 55) 54-24-64-24, fax: (52 55) 54-24-54-85

Los gases de efecto invernadero presentes en la atmósfera de manera natural son un elemento clave para conservar la temperatura de la tierra al retener parte de la energía proveniente del Sol; entre ellos se encuentran el vapor de agua, el bióxido de carbono, el metano y el óxido nitroso. Su presencia y concentración se mantuvo estable por siglos hasta el siglo XIX, época en que tiene lugar la Revolución Industrial. A partir de dicha fecha, las actividades humanas han generado gases de efecto invernadero lo que está provocando un aumento en sus concentraciones en la atmósfera. Como resultado, la temperatura del planeta tiende a aumentar, ocasionando con ello variaciones en el clima. De acuerdo al Tercer Informe de Evaluación del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (2001), tres cuartas partes de las emisiones antropogénicas de bióxido de carbono en la atmósfera se deben a la quema de combustibles fósiles.

Por esta razón, la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC), en la que están representadas 189 países y regiones

del planeta, tiene como objetivo estabilizar las concentraciones de los gases de efecto invernadero en la atmósfera a un nivel que impida interferencias antropogénicas peligrosas en el sistema climático. Este nivel debería lograrse en un plazo suficiente para permitir que los ecosistemas se adapten naturalmente al cambio climático, asegurar que la producción de alimentos no se vea amenazada y permitir que el desarrollo económico prosiga de manera sostenible.

Por lo anterior, el Gobierno de México reitera su compromiso ante la CMNUCC al presentar, con cifras al año 2002, su tercer inventario nacional de emisiones antropogénicas por fuentes y sumideros de todos los gases de efecto invernadero no controlados por el Protocolo de Montreal. El resultado de este inventario permitirá conocer la contribución de nuestro país como emisor de gases de efecto invernadero en el contexto mundial, identificar aquellas categorías que contribuyen en diferente medida a dichas emisiones y establecer prioridades nacionales en materia de mitigación del cambio climático.