

Emisiones de gases de efecto invernadero en el estado de Morelos



Ma. Laura Ortiz-Hernández
Rosa Estela Quiroz-Castañeda
Enrique Sánchez-Salinas
María Luisa Castrejón-Godínez
Benedicta Macedo-Abarca

Universidad Autónoma del Estado de Morelos

Emisiones de gases de
efecto invernadero
en el estado de Morelos

Emisiones de gases de efecto invernadero en el estado de Morelos

Ma. Laura Ortiz-Hernández
Rosa Estela Quiroz-Castañeda
Enrique Sánchez-Salinas
María Luisa Castrejón-Godínez
Benedicta Macedo-Abarca



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

Programa de Gestión Ambiental Universitario

Esta publicación fue realizada gracias al financiamiento proporcionado por SEMARNAT-CoNaCyT, proyecto sectorial 108384; además de recursos aportados por el Gobierno del Estado de Morelos.

Emisiones de gases de efecto invernadero en el estado de Morelos/ Ma. Laura Ortiz-Hernández, Rosa Estela Quiroz-Castañeda, Enrique Sánchez-Salinas, María Luisa Castrejón-Godínez y Benedicta Macedo-Abarca - -México : Universidad Autónoma del Estado de Morelos: Editor, 2013.

168 p.

ISBN 978-607-7771-87-6

1. Aspectos generales del estado de Morelos 2. Energía 3. Procesos industriales y solventes 4. Agricultura 5. Uso del suelo, cambio del uso del suelo y silvicultura 6. Residuos 7. Análisis comparativo de emisiones de GEI entre categorías, fuentes clave y cálculo de incertidumbre. Ortiz-Hernández Ma. Laura, Quiroz-Castañeda Rosa Estela, Sánchez-Salinas Enrique, Castrejón-Godínez María Luisa y Macedo-Abarca Benedicta.

Emisiones de gases de efecto invernadero en el estado de Morelos

Ma. Laura Ortiz-Hernández, Rosa Estela Quiroz-Castañeda, Enrique Sánchez-Salinas, María Luisa Castrejón-Godínez y Benedicta Macedo-Abarca

Primera edición, 2013

D.R. © 2012, Ma. Laura Ortiz-Hernández, Rosa Estela Quiroz-Castañeda, Enrique Sánchez-Salinas, María Luisa Castrejón-Godínez y Benedicta Macedo-Abarca

D.R. © 2013, Universidad Autónoma del Estado de Morelos

Av. Universidad 1001

Chamilpa, CP 62209

Cuernavaca, Morelos

publicaciones@uaem.mx

Ilustración de portada: Tania Sánchez-Ortiz

ISBN: 978-607-7771-87-6

Impreso en México

Reservados los derechos

Participantes

- Dra. Ma. Laura Ortiz-Hernández: Coordinación General
- M. en C. Enrique Sánchez-Salinas: Responsable de la categoría Uso de Suelo, Cambio de Uso de Suelo y Silvicultura
- Dra. Rosa Estela Quiroz-Castañeda: Responsable de la categoría Energía e Incertidumbre
- M. en B. María Luisa Castrejón-Godínez: Responsable de las categorías Procesos Industriales y Solventes y Residuos
- Dra. Ma. Laura Ortiz-Hernández: Responsable de la categoría Agricultura
- Biol. Benedicta Macedo-Abarca: Contribución en la categoría de Agricultura
- C. Tania Sánchez-Ortiz: Diseño Gráfico
- M. en C. Enrique Sánchez-Salinas: Fotografía

Asesores externos

- Dr. José Antonio Benjamín Ordoñez Díaz: PRONATURA A.C. y Facultad de Ciencias, UNAM
- Dra. Xóchitl Cruz Núñez: Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM.

Revisión por expertos del Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático:

Ing. Luis Alberto Conde Álvarez

Fís. Gloria Victoria Salas Cisneros

Ing. Aquileo Guzmán Perdomo

Ing. Santa Paola Centeno Rosales

AGRADECIMIENTOS

La Universidad Autónoma del Estado de Morelos, como institución coordinadora de la elaboración del Inventario de Emisiones Gases de Efecto Invernadero en el Estado de Morelos, agradece profundamente a las dependencias del Gobierno Federal y Estatal, a las organizaciones de la sociedad civil, a empresas y a individuos que directa o indirectamente contribuyeron en la elaboración y revisión de este documento. Para llevar a cabo el cálculo de los gases de efecto invernadero, fue necesario el acopio de datos de diferentes fuentes, para lo cual se agradece la colaboración y disposición de dependencias de la Secretaría de Energía (SENER), la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), Petróleos Mexicanos (PEMEX), la Secretaría de Economía (SE), el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) Morelos, la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) y la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) y la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). También se agradece la participación de la capitanía de puerto de Tequesquitengo, a la empresa Cementos Moctezuma, a la empresa Zoofari S.A de C.V., a la Secretaría de Economía del Gobierno del estado de Morelos, a la Secretaría de Desarrollo Agropecuario, a la Dirección General de Protección Civil del Gobierno del Estado de Morelos, a la Comisión Estatal de Población (COESPO) y a la Dirección General del Aeropuerto Mariano Matamoros de Morelos.

CONTENIDO

GLOSARIO.....	i
ACRÓNIMOS.....	vii
ABREVIATURAS DE LOS COMPUESTOS QUÍMICOS.....	viii
CUADRO DE EQUIVALENCIAS Y TABLA DE DENSIDADES.....	viii
INTRODUCCIÓN.....	3
Compilación de datos y cálculo de emisiones de GEI.....	4
Organización para la elaboración del IEGEIM.....	4
Contenido del presente documento.....	5
CAPÍTULO 1 ASPECTOS GENERALES DEL ESTADO DE MORELOS.....	9
1.1. Aspectos físicos.....	9
1.2. Aspectos biológicos.....	12
1.3. Aspectos socioeconómicos.....	13
CAPÍTULO 2 ENERGÍA.....	19
2.1. Introducción.....	19
2.2. Metodología.....	19
2.2.1. Fuentes de información de datos de actividad en la categoría Energía.....	20
2.2.2. Subcategoría de las fuentes fijas de combustión.....	21
2.2.2.1. Datos de actividad.....	21
2.2.3. Subcategoría de las fuentes móviles de combustión.....	22
2.2.3.1. Datos de actividad.....	22
2.2.4. Subcategoría de otras fuentes de combustión (residencial, comercial y agrícola).....	23
2.2.4.1. Datos de actividad.....	24
2.2.5. Balance de energía del estado de Morelos.....	24
2.2.5.1. Factores de emisión.....	25
2.2.6. Cálculo de emisiones de GEI.....	26
2.3. Resultados.....	27
2.3.1. Principales fuentes de emisiones de Gases de Efecto Invernadero en la categoría de Energía.....	27
2.3.2. Incremento en las emisiones de Gases de Efecto Invernadero por consumo de combustibles.....	29
2.3.3. Emisiones de los Gases de Efecto Invernadero indirectos.....	30
2.3.4. Estimación de emisiones de GEI por el consumo de energía eléctrica en el estado de Morelos.....	31
2.3.4.1. Datos de actividad.....	31
2.3.4.2. Estimación de emisiones GEI por consumo de electricidad.....	32
2.3.5. Aporte de GEI de Morelos a la República Mexicana.....	33
2.4. Discusión.....	34
2.5. Conclusiones.....	37
CAPÍTULO 3 PROCESOS INDUSTRIALES Y SOLVENTES.....	41
3.1. Introducción.....	41
3.2.1. Subcategoría de Productos minerales.....	43
3.2.1.1. Datos de actividad.....	44
3.2.1.2. Factores de emisión.....	44
3.2.2. Subcategoría de la Industria química.....	45
3.2.3. Subcategoría de Producción de metales.....	45
3.2.4. Producción y consumo de halocarbono y hexafluoruro de azufre.....	45
3.2.5. Otros procesos industriales.....	45
3.3. Resultados.....	46
3.3.1. Emisiones de diferentes GEI industriales.....	46
3.3.2. Resultados de la generación de CO ₂ eq.....	47
3.4. Análisis de emisiones de GEI de otros giros industriales en función de datos publicados por el RETC.....	47
3.5. Análisis de la generación total de GEI (calculados en este trabajo y tomados del RETC).....	49
3.6. Aportación de emisiones GEI de la categoría Procesos Industriales y Solventes a la generación nacional.....	51
3.7. Discusión.....	51
3.8. Conclusiones.....	51

CAPÍTULO 4 AGRICULTURA	55
4.1. Introducción.....	55
4.2. Metodología.....	55
4.2.1. Fermentación entérica y manejo de estiércol.....	56
4.2.1.1. Datos de actividad.....	56
4.2.1.2. Factores de emisión.....	57
4.2.2. Cultivos.....	60
4.2.2.1. Datos de actividad.....	60
4.2.2.2. Factores de emisión.....	60
4.2.3. Quema <i>in situ</i> de residuos agrícolas.....	61
4.2.3.1. Datos de actividad.....	61
4.2.3.2. Factores de emisión.....	62
4.2.4. Suelos agrícolas.....	63
4.2.4.1. Datos de actividad.....	63
4.2.4.2. Factores de emisión.....	63
4.3. Resultados.....	63
4.3.1. Actividad ganadera.....	63
4.3.2. Cultivos.....	65
4.3.3. Quema de residuos agrícolas en el campo.....	65
4.3.4. Suelos agrícolas.....	66
4.3.5. Resumen de las fuentes de emisiones de Gases de Efecto Invernadero en la categoría de Agricultura.....	67
4.3.6. Comparación de las estimaciones de GEI de la subcategoría Agricultura en Morelos y en el Inventario Nacional de Emisiones de GEI, Cuarta Comunicación Nacional.....	69
4.4. Discusión.....	70
4.5. Conclusiones.....	73
CAPÍTULO 5 USO DE SUELO, CAMBIO DE USO DE SUELO Y SILVICULTURA	77
5.1. Introducción.....	77
5.2. Metodología.....	79
5.3. Cambios de biomasa de bosques y otros tipos de vegetación leñosa.....	80
5.3.1. Datos de actividad.....	80
5.3.2. Factores de emisión.....	81
5.4. Conversión de bosques y praderas.....	81
5.4.1. Datos de actividad.....	82
5.4.2. Factores de emisión.....	83
5.5. Captura por abandono de tierras.....	83
5.5.1. Datos de actividad.....	84
5.5.2. Factores de emisión.....	84
5.6. Emisiones y remociones de CO ₂ del suelo.....	85
5.6.1. Datos de actividad.....	85
5.6.2. Factores de emisión.....	86
5.7. Resultados.....	86
5.7.1. Cambios de biomasa de bosques y otros tipos de vegetación leñosa.....	86
5.7.2. Conversión de bosques y praderas.....	87
5.7.2.1. Otros gases generados por la quema de biomasa <i>in situ</i>	88
5.8. Captura por abandono de tierras.....	88
5.9. Emisiones y remociones de CO ₂ del suelo.....	89
5.10. Estimación de emisiones totales en términos de CO ₂ eq.....	91
5.11. Discusión.....	92
5.12. Conclusiones.....	94
CAPÍTULO 6 RESIDUOS.....	99
6.1. Introducción.....	99
6.2. Metodología.....	101
6.2.1. Fuentes de información.....	101
6.2.2. Factores de corrección.....	101

CONTENIDO

6.2.3. Datos de actividad.....	101
6.2.4. Incineración de residuos peligrosos y hospitalarios.....	104
6.3. Resultados.....	105
6.4. Discusión.....	107
6.5. Conclusiones.....	108
CAPÍTULO 7 ANÁLISIS COMPARATIVO DE EMISIONES DE GEI ENTRE CATEGORÍAS, FUENTES CLAVE Y CÁLCULO DE INCERTIDUMBRES	111
7.1. GEI emitidos en el estado de Morelos	111
7.1.1. Emisiones de CO ₂	111
7.1.2. Emisiones de CH ₄	113
7.1.3. Emisiones de N ₂ O	115
7.2. Principales fuentes de emisión de GEI en el estado de Morelos.....	116
7.3. Tendencia de las emisiones de GEI en el estado de Morelos.....	118
7.4. Comparación de las emisiones de GEI en Morelos con respecto a las nacionales.....	120
7.5. Análisis de fuentes clave por Nivel	121
7.6. Análisis de fuentes clave por tendencia	123
7.7. Generación per cápita de GEI en el estado de Morelos.....	124
7.8. Estimación de la incertidumbre.....	125
REFERENCIAS	129
ANEXO I	137

CONTENIDO DE CUADROS

Cuadro 1. Potenciales de calentamiento global (PCG) de algunos GEI evaluados en el Inventario estatal.....	5
Cuadro 1.1. Estructura de la población de 15 años y más por nivel de instrucción, período 2005-2010.	14
Cuadro 2.1. Subcategorías incluidas en la categoría Energía.	19
Cuadro 2.2. Fuentes de información para los datos de actividad que se utilizaron para el cálculo de los GEI... ..	20
Cuadro 2.3. Consumo de gasolinas, diesel y gas LP en la subcategoría de fuentes móviles de combustión.	22
Cuadro 2.4. Consumo de gas LP y leña en las subcategorías comercial, residencial y agrícola	24
Cuadro 2.5. Consumo de combustibles por subcategorías en el estado de Morelos.	25
Cuadro 2.6. Consumo de los diferentes tipos de combustibles en el estado de Morelos.	26
Cuadro 2.7. Datos de los factores de emisión, fracción de carbono oxidado y valores calóricos netos empleados para estimar las emisiones de los combustibles utilizados en el estado.	26
Cuadro 2.8. Emisiones de GEI en la categoría de Energía en el estado de Morelos durante los años 2005, 2007 y 2009.	28
Cuadro 2.9. Emisiones de GEI en CO ₂ eq generadas por las subcategorías en los años 2005, 2007 y 2009 e identificación de fuentes clave de la categoría de Energía.	29
Cuadro 2.10. Emisiones de GEI indirectos en el estado de Morelos.....	30
Cuadro 2.11. Factores de emisión de electricidad promedio (ton CO ₂ eq/MWh).....	33
Cuadro 2.12. Comparación de las emisiones de GEI entre el estado de Morelos y las Nacionales en la categoría de Energía por tipo de GEI en CO ₂ eq para 2005	34
Cuadro 3.1. Subcategorías incluidas en la categoría Procesos Industriales.....	42
Cuadro 3.2. Fuentes de información de los datos de actividad para cada subcategoría.	43
Cuadro 3.3. Fabricación de diferentes productos de minería no metálica e industrial en el estado de Morelos para los años 2005, 2007 y 2009.	44
Cuadro 3.4. Factores de emisión por defecto utilizados para la estimación de CO ₂ , CO, NO _x , SO ₂ y COVDM.	45
Cuadro 3.5. Emisiones de GEI en la categoría de Procesos Industriales y Solventes en el estado de Morelos en los años 2005, 2007 y 2009.	46
Cuadro 3.6. Emisiones de CO ₂ eq en la categoría de Procesos Industriales y Solventes en el estado de Morelos en los años 2005, 2007 y 2009.	47
Cuadro 4.1. Subcategorías incluidas en Agricultura.	55
Cuadro 4.2. Número de animales en el estado de Morelos.	57

Cuadro 4.3. Factores de emisión de las diferentes fuentes de emisión.	58
Cuadro 4.4. Superficie cultivada de arroz en estado de Morelos.	60
Cuadro 4.5. Factores de emisión utilizados para el cálculo de las emisiones de metano provenientes del cultivo de arroz.	61
Cuadro 4.6. Factores de emisión utilizados para el cálculo de GEI provenientes de la quema de residuos agrícolas (caña de azúcar).	62
Cuadro 4.7. Valores utilizados para el cálculo de las emisiones provenientes de suelos agrícolas.	64
Cuadro 4.8. Emisiones de CH ₄ procedentes de la fermentación entérica y el manejo de estiércol.	64
Cuadro 4.9. Resumen de las emisiones de N ₂ O procedentes de la producción pecuaria.	65
Cuadro 4.10. Emisiones procedentes de la quema de residuos agrícolas en campo.	65
Cuadro 4.11. Emisiones directas de óxido nitroso procedentes de los suelos agrícolas.	66
Cuadro 4.12. Emisiones indirectas de N ₂ O por el manejo de suelos agrícolas.	67
Cuadro 4.13. Total de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero procedentes de la categoría de Agricultura.	68
Cuadro 4.14. Emisiones de CO ₂ eq de la categoría de Agricultura.	68
Cuadro 4.15. Comparativo de las emisiones de GEI en CO ₂ eq del estado de Morelos y Nacionales de la categoría de Agricultura para 2005.	69
Cuadro 5.1. Subcategorías de USCUSyS.	78
Cuadro 5.2. Fuentes de información para los datos de actividad de la categoría USCUSyS.	79
Cuadro 5.3. Tipo de vegetación predominante en el estado de Morelos en los años 2005, 2007 y 2009.	80
Cuadro 5.4. Cosecha comercial en el estado de Morelos.	81
Cuadro 5.5. Valores por defecto para calcular las emisiones de GEI provenientes de la subcategoría de Cambios de biomasa de bosques y otros tipos de vegetación leñosa.	81
Cuadro 5.6. Área convertida y pérdida anual de biomasa en los diferentes tipos de vegetación en el estado de Morelos en los años 2005 y 2009.	82
Cuadro 5.7. Valores por defecto empleados en el cálculo de las emisiones que provienen de la conversión de bosques y praderas.	83
Cuadro 5.8. Datos para el área convertida en Morelos para los años 2005, 2007 y 2009 en 10 y 20 años.	84
Cuadro 5.9. Fracciones utilizadas para el cálculo de las emisiones por abandono de tierra.	85
Cuadro 5.10. Áreas correspondiente a bosque y selva hace 20 años y en el 2005.	85
Cuadro 5.11. Valores por defecto utilizados para el cálculo del cambio en suelo de carbono para suelos minerales.	86
Cuadro 5.12. Cantidad de carbono liberado por diferentes actividades relacionadas con la categoría de USCUSyS en el estado de Morelos.	87
Cuadro 5.13. Emisiones de GEI generados por la conversión de bosques y praderas.	87
Cuadro 5.14. Emisiones de gases distintos al CO ₂ que provienen de la quema de biomasa <i>in situ</i>	88
Cuadro 5.15. Emisiones en CO ₂ eq provenientes de las diferentes subcategorías de USCUSyS.	92
Cuadro 6.1. Subcategorías incluidas en la categoría Residuos.	100
Cuadro 6.2. Fuentes de información para el cálculo de las emisiones GEI en la categoría Residuos.	102
Cuadro 6.3. Valores empleados para la estimación de las emisiones de residuos sólidos municipales.	103
Cuadro 6.4. Datos reportados de RSU para los años 2005, 2007 y 2009.	103
Cuadro 6.5. Fracción de cobertura en las plantas de tratamiento de aguas residuales municipales e industriales para los años 2005, 2007 y 2009.	104
Cuadro 6.6. Emisiones de los GEI provenientes de la categoría Residuos en el estado de Morelos para los años 2005, 2007 y 2009.	105
Cuadro 6.7. Emisiones de GEI en CO ₂ eq en la categoría de Residuos en el estado de Morelos en los años 2005, 2007 y 2009.	106
Cuadro 7.1. Emisiones de CO ₂ en el estado de Morelos.	112
Cuadro 7.2. Emisiones de CH ₄ en el estado de Morelos.	114
Cuadro 7.3. Emisiones de N ₂ O en el estado de Morelos.	115
Cuadro 7.4. Emisiones totales de CO ₂ equivalente en Morelos durante 2005, 2007 y 2009.	117
Cuadro 7.5. Contribución de Morelos a las emisiones totales nacionales en el año 2005.	121
Cuadro 7.6. Fuentes clave de emisión, incluyendo USCUSyS, para el año 2005.	122
Cuadro 7.7. Fuentes clave de emisión, incluyendo USCUSyS para el año 2009.	122
Cuadro 7.8. Análisis de fuentes clave por tendencia, incluyendo USCUSyS.	123

Cuadro 7.9. Comparación de emisiones per cápita total y por categorías del estado de Morelos contra los valores nacionales.....	125
Cuadro 7.10. Incertidumbres estimadas en las diferentes Categorías en el Inventario de GEI del Estado de Morelos.....	126

CONTENIDO DE FIGURAS

Figura 1. Estructura de los responsables que participaron en la elaboración del Inventario de Emisiones de GEI del estado de Morelos.....	6
Figura 1.1. Localización del estado de Morelos.....	9
Figura 2.1. Consumo de gas LP en la Industria en Morelos.....	21
Figura 2.2. Incremento del parque vehicular del 1980 al 2009 en Morelos.....	23
Figura 2.3. Emisiones de CO ₂ eq de los diferentes combustibles utilizados en el estado de Morelos.....	30
Figura 2.4. Volumen de ventas de electricidad en el estado de Morelos por tipo de servicio proporcionado.	32
Figura 2.5. Tipo de servicio al que se destinó el uso de la energía eléctrica en el estado de Morelos en 2009.....	32
Figura 2.6. Emisiones de CO ₂ eq provenientes del uso de energía eléctrica de todos los sectores.....	34
Figura 2.7. Principales fuentes de emisión de CO ₂ eq en Morelos en 2005.....	36
Figura 3.1. Contribución de CO ₂ por los diferentes giros industriales establecidos en el estado de Morelos.	48
Figura 3.2. Emisión de CO ₂ para los años 2005, 2007 y 2009.....	49
Figura 3.3. Generación total de emisión de GEI a través de cálculos de acuerdo con la metodología del IPCC y de los datos tomados del RETC.....	50
Figura 3.4. Aportación porcentual de CO ₂ eq de los diferentes giros industriales en el estado de Morelos.....	50
Figura 4.1. Producción de caña de azúcar en el estado de Morelos.....	62
Figura 4.2. Porcentaje de emisión de CO ₂ eq por subcategorías para la categoría Agricultura en el 2005.....	69
Figura 4.3. Porcentajes de emisiones de metano de las subcategorías de la categoría Agricultura, en 2005.	71
Figura 4.4. Porcentajes de emisión de óxido nitroso de las diferentes subcategorías de la categoría Agricultura, en 2005.	72
Figura 4.5. Contribución porcentual de las emisiones de los diferentes GEI en la quema de cultivos de caña de azúcar en 2005.....	73
Figura 5.1. Captura total de CO ₂ en Gg, proveniente del abandono de las tierras en el estado de Morelos durante los años 2005, 2007 y 2009.....	89
Figura 5.2. Emisión y remoción de CO ₂ proveniente de la subcategoría forestal.	91
Figura 6.1. Aportación porcentual de los GEI en la categoría de Residuos.....	107
Figura 7.1. Fuentes de emisión de CO ₂ en Morelos en el año base 2005.....	113
Figura 7.2. Proporción de las fuentes de emisión de CH ₄ en el estado para el año base 2005.	114
Figura 7.3. Fuentes de emisión de N ₂ O en el estado de Morelos para el año base 2005.....	116
Figura 7.4. Tendencia en las emisiones estatales de GEI durante los años 2005, 2007 y 2009.	118
Figura 7.5. Resumen de emisiones de GEI durante 2005, 2007 y 2009 de las categorías evaluadas en el inventario estatal.....	119
Figura 7.6. Aportación porcentual de emisiones por categoría en 2005.....	120

GLOSARIO

- 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.
- Alteración** (también llamada degradación). Este proceso implica una modificación inducida por el hombre en la vegetación natural, pero no un reemplazo total de la misma, como en el caso de la deforestación.
- Antropogénico(a).** Efecto generado por las actividades del ser humano.
- Aprovechamiento forestal.** Es la parte comercial de la tala destinada a la elaboración o al consumo directo.
- Árbol de decisiones.** Diagrama de flujo propuesto 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.
- Bosque de *Quercus*** (Rzedowski 1981) o Encinares (Miranda y Hernández X. 1963). Es un tipo de vegetación frecuentemente llamada “bosques de latifoliadas”, dominada por árboles de hoja ancha de la familia Fagaceae principalmente encinos (*Quercus*).
- Bosque mixto pino-encino.** La similitud de las exigencias ecológicas de los pinares y encinares, da como resultado que los dos tipos de bosque ocupen nichos muy similares, que se desarrollen con frecuencia uno al lado del otro, formando intrincados mosaicos y complejas interrelaciones sucesionales, y que a menudo se presenten en forma de bosques mixtos. En virtud de estas circunstancias, numerosos autores han optado por fundir en sus estudios a los bosques de *Pinus* y los de *Quercus* en un solo tipo de vegetación, a pesar de las significativas diferencias fisonómicas entre unos y otros.
- Bosques de coníferas** (Rzedowski 1981). El bosque de coníferas está representado por oyamel (*Abies religiosa*); pino (*Pinus teocote*, *P. Montezumae*, *P. pseudostrobus*, *P. leyophila*, *P. rudis*, *P. hartwegii*, *P. lawsoni*). Fisonómicamente, este bosque se caracteriza por ser una comunidad más o menos densa, formada por un estrato arbóreo que varía de ocho a 35 metros de altura, con una amplia representación florística en los estratos herbáceo y arbustivo.
- Calentamiento global.** Es el incremento en la temperatura (T) media del planeta. Se acciona como consecuencia del incremento en las concentraciones de

gases de efecto invernadero en la atmósfera, derivados de las actividades humanas en general.

Cambio climático. Cambio en el clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera y que se suma a la variabilidad natural del clima, observada durante períodos de tiempo comparables.

Cambio de uso de suelo. Son los cambios que sufre la superficie terrestre debidos, 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.

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 Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (PICC), las categorías de emisión son: energía, procesos industriales, solventes, agricultura, uso de suelo, cambio de uso de suelo y silvicultura y residuos.

CO₂ equivalente. Volumen de emisión de dióxido de carbono que causaría el mismo forzamiento radiativo integrado, en un plazo de tiempo dado, que cierta cantidad emitida de un gas de efecto invernadero suficientemente mezclado o de una mezcla de gases de efecto invernadero suficientemente mezclados. Las emisiones de dióxido de carbono equivalentes se calculan multiplicando la emisión de un gas de efecto invernadero suficientemente mezclado por su potencial de calentamiento global en el plazo de tiempo especificado. En el caso de las mezclas de gases de efecto invernadero, se suman las emisiones de dióxido de carbono equivalentes, correspondientes a cada gas. La emisión de dióxido de carbono equivalente es una unidad de medida normalizada y útil para comparar las emisiones de diferentes gases de efecto invernadero; aunque no implica una equivalencia exacta en las respuestas correspondientes en términos de cambio climático.

Cobertura vegetal. Este término se aplica, en un todo o en parte, a algunos de los atributos del terreno que 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, etcétera) o a partir de ambientes que han sido producidos y mantenidos por el hombre, como pueden ser los cultivos, las ciudades, las presas, entre otros.

Dasometría. Se ocupa de la medición de los árboles, de la determinación del volumen de los bosques y de los crecimientos de ambos, así como de las cuestiones relacionadas con la estimación métrica y la cubicación de la masa forestal, esta última 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, etcétera) a la cual está asociada una posible emisión de gases de efecto invernadero.

- DBO₅**. Demanda bioquímica de oxígeno medida a los 5 días de incubación.
- DQO**. Demanda química de oxígeno.
- Deforestación**. Es la transformación de tierras forestales a no-forestales debido a la actividad humana directa o inducida.
- Desnitrificación**. Proceso por el cual el nitrato se convierte en nitrógeno gas.
- Dióxido de carbono**. Gas naturalmente producido por animales durante la respiración y la descomposición de biomasa. Lo utilizan las plantas para realizar la fotosíntesis. Es uno de los gases más importantes precursores del efecto invernadero.
- 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 parte de los sistemas terrestres, y su captura en la biomasa y el suelo.
- Fermentación entérica**. Es un proceso digestivo en el cual los microorganismos descomponen los carbohidratos en moléculas simples para su absorción en el torrente sanguíneo de un animal. Durante este proceso se producen grandes cantidades de emisiones de metano.
- Forzamiento radiativo**. Cambio en la irradiación neta vertical (expresada en W/m^2).
- Fragmentación**. Es la transformación del paisaje que se distingue por tener pequeños parches de vegetación original rodeados de superficie alterada.
- Fuente de emisión**. Proceso o mecanismo a través del cual se libera algún gas de efecto invernadero.
- Fuentes**. Cualquier proceso, actividad o mecanismo que emita un gas de efecto invernadero o un aerosol hacia la atmósfera. Éstas pueden ser fijas, como en el caso de la Industria, o móviles, como las fuentes del sector transporte.
- Gases de efecto invernadero indirectos**. Los Gases de Efecto Invernadero (GEI) se dividen en directos e indirectos. Los de efecto directo son aquellos que tienen la capacidad de influir en la concentración atmosférica de otros gases de efecto invernadero, por ejemplo, el ozono. Los GEI indirectos son los óxidos de nitrógeno (NO_x), el monóxido de carbono (CO), el dióxido de azufre (SO_2) y los compuestos orgánicos volátiles diferentes al metano (COVDM); estos últimos compuestos son precursores de ozono y deben ser regulados en zonas urbanas para controlar la formación de dicho gas, así como de partículas suspendidas.
- Gases de efecto invernadero**. Componentes gaseosos de la atmósfera, naturales y antropogénicos, que absorben y emiten radiaciones a longitudes de ondas específicas dentro del espectro de la radiación infrarroja emitida por la

superficie de la Tierra, la atmósfera y las nubes, lo que origina el efecto invernadero. El vapor de agua (H₂O), el dióxido de carbono (CO₂), el óxido nitroso (N₂O), el metano (CH₄) y el ozono (O₃) son los principales gases de efecto invernadero de la atmósfera terrestre. Sin embargo, existe en la atmósfera una cantidad de gases de efecto invernadero creados íntegramente por la acción del hombre, tales como los halocarbonos y otras sustancias que contienen cloro y bromo, tratadas en el Protocolo de Montreal. El Protocolo de Kioto, además del dióxido de carbono, el óxido nitroso y el metano, incluye los siguientes gases de efecto invernadero: hexafluoruro de azufre, hidrofluorocarbonos y perfluorocarbonos.

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

Guía de las buenas prácticas y manejo de la incertidumbre. Conjunto de instrucciones propuestas por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático para elaborar los inventarios de emisiones de gases de efecto invernadero, con el objeto de reducir al máximo las incertidumbres en los resultados de los mismos.

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 período dado.

Joule. Unidad de Energía del Sistema Internacional, su símbolo es J, (1 caloría = 4,187 J).

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

Mega joules (MJ). Unidad de medida de energía equivalente a 1,000,000 de Joules.

Metano. El metano es uno de los seis gases de efecto invernadero que se intenta reducir en el marco del Protocolo de Kioto. Es el componente fundamental del gas natural y está asociado a todos los combustibles de hidrocarburos, a la descomposición de materia orgánica y a la agricultura. El metano de las capas carboníferas es el gas que se encuentra en las capas de carbón.

Nitrificación. Es la oxidación biológica de amonio con oxígeno que resulta en nitritos, seguido por la oxidación de esos nitritos en nitratos. La nitrificación es una etapa importante en el ciclo del nitrógeno en los suelos.

Nivel (Tier). Metodologías de estimación de emisiones, en función de su exactitud e información requerida. El procedimiento Tier 1 es el menos detallado, utiliza factores de emisión relacionados a información socioeconómica, generalmente con un amplio rango e incertidumbre elevada, e información de actividad general relacionada con la categoría de generación de emisiones. Estos datos de actividad requeridos son tomados de las fuentes de información estadística nacionales o internacionales, como pueden ser los Censos Socioeconómicos y de Población, estadísticas del sistema de Naciones Unidas, los Balances Nacionales de Energía y los Anuarios Estadísticos de empresas como Pemex y la CFE.

- Óxido nitroso.** El óxido nitroso es un gas incoloro y no inflamable cuya fórmula química es N_2O .
- Ozono.** Estado alotrópico del oxígeno, producido por la electricidad, de cuya acción resulta un gas muy oxidante, de olor fuerte a marisco y de color azul en estado líquido. El ozono, la forma triatómica del oxígeno (O_3), es un componente gaseoso de la atmósfera. En la troposfera se crea de manera natural y también como consecuencia de reacciones fotoquímicas en las que intervienen gases resultantes de actividades humanas. El ozono troposférico se comporta como un gas de efecto invernadero. En la estratosfera, el ozono se crea por efecto de la interacción entre la radiación solar ultravioleta y el oxígeno molecular (O_2). El ozono estratosférico desempeña un papel fundamental en el equilibrio radiativo de la estratosfera.
- Plantación forestal comercial.** Es 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 (PCG).** Define el efecto de calentamiento integrado a lo largo del tiempo que produce hoy una liberación instantánea de 1 kg de un gas de efecto invernadero, en comparación con el causado por el CO_2 . De esta forma, se pueden tener en cuenta los efectos radiativos de cada gas, así como sus diferentes períodos 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.** Son todos aquellos residuos, en cualquier estado físico, que por sus características corrosivas, reactivas, explosivas, tóxicas, inflamables o biológico-infecciosas (características CRETIB), representan un peligro para el equilibrio ecológico o el ambiente —se incluyen todos aquellos envases, recipientes, embalajes que hayan estado en contacto con éstos—, y requieren tratamientos específicos como la incineración a altas temperaturas para su disposición o confinamiento controlado, para evitar riesgos de salud y contaminación irreversible al ambiente.
- Residuos sólidos urbanos.** Los generados en las casas habitación, que resultan de la eliminación de los materiales que se utilizan en las actividades domésticas, de los productos que se consumen y de los envases, embalajes o empaques que pueden encontrarse en este lugar; los que provienen de cualquier otra actividad dentro de establecimientos o en la vía pública, y los resultantes de la limpieza de las vías y lugares públicos (LGPGIR, 2003).
- Revegetación.** Es el incremento en los almacenes de carbono debido a actividad humana directa o inducida a través del establecimiento de vegetación que cubre un área mínima de 0.05 ha.
- Selva baja caducifolia (SBC; Miranda y Hernández X., 1963) o Bosque Tropical Caducifolio (Rzedowski, 1981).** Este tipo de vegetación luce

exuberantemente verde en época de lluvias (de junio a septiembre), en contraste con el aspecto grisáceo que presenta en la época de secas (de octubre a mayo) cuando la mayor parte de las especies vegetales se desprenden de sus hojas; adicionalmente, los árboles constituyen una comunidad densa cuya altura oscila entre cinco y doce metros.

Selva baja caducifolia con vegetación secundaria. La vegetación secundaria de esta comunidad vegetal se desarrolla generalmente en condiciones de alto disturbio debido, fundamentalmente, a las actividades de ganadería extensiva y las prácticas de cultivo en el sistema de roza-tumba-quema. La vegetación secundaria está representada por especies arbustivas de las familias Leguminosae y Compositae y pastizales constituidos por diversas especies.

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 período de referencia, incluidas todas las partes de los árboles.

Terajoule. Unidad de energía. 1 Terajoule = 10^{12} joules.

Tier. Ver Nivel.

Trona. Mineral base en la obtención del carbonato de sodio mediante un proceso natural.

Turbosina (*Jet Kerosene*). Combustible utilizado en la aviación. Se destila aproximadamente entre 130° y 150° C, funciona como combustible para cohetes, aviones a reacción y algunos motores diesel.

UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change). Es la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Es la principal fuente de información sobre la Convención, el Protocolo de Kioto y su aplicación.

Uso de suelo. Se aplica a los diferentes tipos de cobertura que el ser humano crea para satisfacer sus necesidades materiales o espirituales. Es una descripción de la función o el propósito para el cual la tierra será usada.

Vegetación secundaria. Se incluye, en general, bajo esta categoría a las comunidades naturales de plantas que se establecen como consecuencia de la destrucción total o parcial de la vegetación primaria o clímax, realizada directamente por el hombre o por sus animales domésticos.

ACRÓNIMOS

CEAMA: Comisión Estatal del Agua y Medio Ambiente.
CFE: Comisión Federal de Electricidad.
CMNUCC: Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático.
CO₂ eq: Dióxido de carbono equivalente.
CONAFOR: Comisión Nacional Forestal.
CONAGUA: Comisión Nacional del Agua.
CRETIB: Corrosivo, Reactivo, Explosivo, Tóxico ambiental, Inflamable, Biológico infeccioso.
FCM: Factor de Corrección de Metano.
FE: Factores de Emisión.
GEI: Gases de Efecto Invernadero.
Gg: Gigagramos.
Ha: Hectárea.
INECC: Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático.
INEGI: Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
Joule (J): Unidad de energía del Sistema Internacional.
kton Carbono: Kilo tonelada de carbono. Equivale a 1,000 toneladas.
LGPGIR: Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos.
msnm: metros sobre el nivel del mar.
PCG: Potencial de Calentamiento Global (en inglés, Global Warming Potencial, GWP).
PEMEX: Petróleos Mexicanos.
PICC: Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (en inglés, IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change).
RETC: Registro de Emisiones y Transferencias de Contaminantes.
RSU: Residuos Sólidos Urbanos.
SAGARPA: Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación.
SBC: Selva baja caducifolia.
SE: Secretaría de Economía.
SEMARNAT: Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales.
SENER: Secretaría de Energía.
SIACON: Sistema de Información Agroalimentaria y de Consulta.
SIE: Sistema de Información Energética.
SIEM: Sistema de Información Empresarial Mexicano.
SNIARN: Sistema Nacional de Información Ambiental y de Recursos Naturales.
TJ: Terajoules. Equivale a 10¹² joules.
USCUSyS: Uso de Suelo, Cambio de Uso de Suelo y Silvicultura.
USGS: United States Geological Survey.

ABREVIATURAS DE LOS COMPUESTOS QUÍMICOS

ABREVIATURA	COMPUESTO
CO ₂	Dióxido 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	Dióxido de azufre
HFC	Hidrofluorocarbonos
PFC	Perfluorocarbonos
SF ₆	Hexafluoruro de azufre

CUADRO DE EQUIVALENCIAS Y TABLA DE DENSIDADES

Cuadro de Equivalencias	
Unidad	Equivalencia
Energía	
TJ	10 ¹² joules
1 Caloría	4,187 J
Volumen	
1 L	0.001 m ³
1 hL	100 L
1 m ³	1,000 L
Peso	
1 Ton	1,000 kg
1 kg	1,000 g
1 Gg	1,000 ton
Área	
1 km ²	100 ha
1 ha	10,000 m ²
1Mha	1,000,000 ha

Tabla de Densidades	
Sustancia	Densidad (kg/l)
Diesel	0.82
Gasolina Premium	0.75
Gasolina Magna	0.72
Gas LP	0.56
Gasóleo	0.90
Combustóleo	0.98
Turbosina	0.80

Fuente: Hojas de datos de seguridad de cada producto (PEMEX).



INTRODUCCIÓN

INTRODUCCIÓN

El presente Inventario de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero del estado de Morelos es una parte integral e importante del Programa de Acciones ante el Cambio Climático del mismo estado. Lo anterior encuentra su base en el compromiso del Gobierno Federal ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) evidenciado en su Cuarta Comunicación Nacional, dentro de la cual, el Gobierno del estado de Morelos asume el mismo compromiso. La presente obra es la primera versión del Inventario de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero en el estado de Morelos (IEGEIEM), por ello es susceptible de actualización continua. Los datos que hicieron posible el cálculo de la emisión de GEI fueron tomados de bases de datos publicados y/o proporcionados por los sectores público y privado; aunado a esto, fue necesario realizar una serie de estimaciones y supuestos necesarios para adaptar dicha información a lo solicitado en las hojas de trabajo del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (PICC).

Esta primera versión del IEGEIEM contempla estimaciones por categorías, incluyendo a Energía, Procesos Industriales, Uso de Suelo, Cambio de Uso de Suelo y Silvicultura, Agricultura y Residuos. El análisis comprende a los años 2005, 2007 y 2009, ya que por experiencias de otras entidades de la República Mexicana, los cambios entre un año y otro no son significativos. El cálculo se realizó de acuerdo con las Directrices del PICC, en su versión revisada de 1996, y con la Orientación del PICC sobre las Buenas Prácticas, publicadas en el año 1997, (PICC, 1996a). El año base para realizar el presente Inventario Estatal de Emisiones fue el 2005.

En el proceso seguido para la elaboración del presente documento, primeramente se formó un grupo de trabajo de académicos de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos (UAEM), quienes fueron capacitados por expertos nacionales. Adicionalmente, se integraron estudiantes becarios de la Licenciatura en Biología de la misma Universidad, con lo cual se generaron capacidades locales que permitirán continuar con los trabajos de actualización del inventario estatal, además de la elaboración de inventarios municipales.

Antes de iniciar con los trabajos para el inventario se debe mencionar que el grupo de trabajo se capacitó con diferentes cursos impartidos por expertos del Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, en coordinación con la Embajada Británica en México y el Instituto Tecnológico de Estudios Superiores Monterrey. También se organizó y se impartió un primer taller de capacitación en las instalaciones de la UAEM, el cual cubrió la temática sobre la elaboración de inventarios de gases de efecto invernadero y cuyo objetivo fue proporcionar las bases metodológicas suficientes para realizar el inventario mencionado. Posterior a

estos cursos/talleres, se contó con el apoyo permanente de los asesores externos los Doctores José Antonio Benjamín Ordoñez Díaz de PRONATURA A.C. y de la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), y Xóchitl Cruz, del Centro de Ciencias de la Atmósfera de la misma Universidad. Así mismo, se contó con la retroalimentación de personas expertas del Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, quienes se dieron a la tarea de revisar los resultados obtenidos, hacer las observaciones y, en su caso, las correcciones pertinentes.

Compilación de datos y cálculo de emisiones de GEI

Para la compilación de datos, se realizó una búsqueda exhaustiva para obtener la información para cada categoría de emisión. Durante esta fase, se realizaron solicitudes de información a titulares de diferentes dependencias del Gobierno Federal, del Gobierno Estatal, a empresas y comercios del sector privado y a las diferentes Cámaras en que están agrupados. Las fuentes de información de todas las categorías incluidas en este inventario se especifican en cada capítulo que describe a la respectiva categoría.

Posteriormente, se revisaron y evaluaron los datos obtenidos, se procesaron en hojas de cálculo y se estimaron las emisiones de cada categoría de emisión; se integró el IEGEIAM y se calcularon las incertidumbres general y por categoría. Todo el proceso estuvo asesorado por expertos en la elaboración de inventarios de emisiones de GEI de otros estados de la República Mexicana y del Inventario Nacional de Emisiones de GEI 1990-2006.

Los gases que se calcularon fueron el CO₂, el CH₄, N₂O y algunos COVDM. Sin embargo, para contar con una unidad de medición única y susceptible de ser comparada con el Inventario Nacional y a nivel internacional, se estimaron las emisiones totales en términos de CO₂ equivalente (CO₂ eq), para lo cual se utilizaron los potenciales de calentamiento global descritos por el PICC (Cuadro 1).

Organización para la elaboración del IEGEIAM

Para la elaboración del presente inventario, fue necesario contar con una estructura que representara la organización y las responsabilidades de los integrantes del grupo de trabajo. La figura 1 muestra dicha organización.

Cuadro 1. Potenciales de calentamiento global (PCG) de algunos GEI evaluados en el Inventario estatal.

Nombre GEI	Fórmula	Potenciales de Calentamiento Global para horizontes de tiempo determinados*			
		20 años	100 años**	100 años	500 años
Dióxido de carbono	CO ₂	1	1	1	1
Metano	CH ₄	72	21	25	7.6
Óxido nitroso	N ₂ O	289	310	298	153
HFC-23	CHF ₃	12,000	11,700	14,800	12,200
HFC-134	C ₂ H ₂ F ₄	3,830	1,300	1,430	435
Hexafluoruro de azufre	SF ₆	16,300	23,900	22,800	32,600
PFC-14	CF ₄	5,210	6,500	7,390	11,200
PFC-116	C ₂ F ₆	8,630	9,200	12,200	18,200

*Fuente: Report IPCC Working Group 1, Fourth Assesment Report. ** Working Group 1, Second Assesment Report, estos valores se utilizaron para calcular los Gg de CO₂ eq en el Inventario Estatal de Emisiones de GEI.

Contenido del presente documento

El presente documento está organizado y dividido en capítulos de la siguiente manera: el capítulo uno corresponde a una descripción básica de datos del medio físico y sociodemográficos del estado de Morelos; en el dos se presentan los resultados correspondientes a la categoría Energía; el tres a Procesos Industriales; el cuatro a Agricultura; el cinco a Uso de Suelo, Cambio de Uso de Suelo y Silvicultura; el seis a Residuos; y en el siete se realiza un resumen general del inventario, comparando los resultados entre las diferentes categorías y reportándolos de forma integral, para dar a conocer las emisiones totales en el estado de Morelos; también se realizan comparaciones con respecto a la generación nacional, se calcula la emisión *per capita* y se dan a conocer las fuentes clave de emisión –que son las que deben atenderse para establecer las estrategias de mitigación–, además se proporciona información relacionada con la estimación de las incertidumbres.

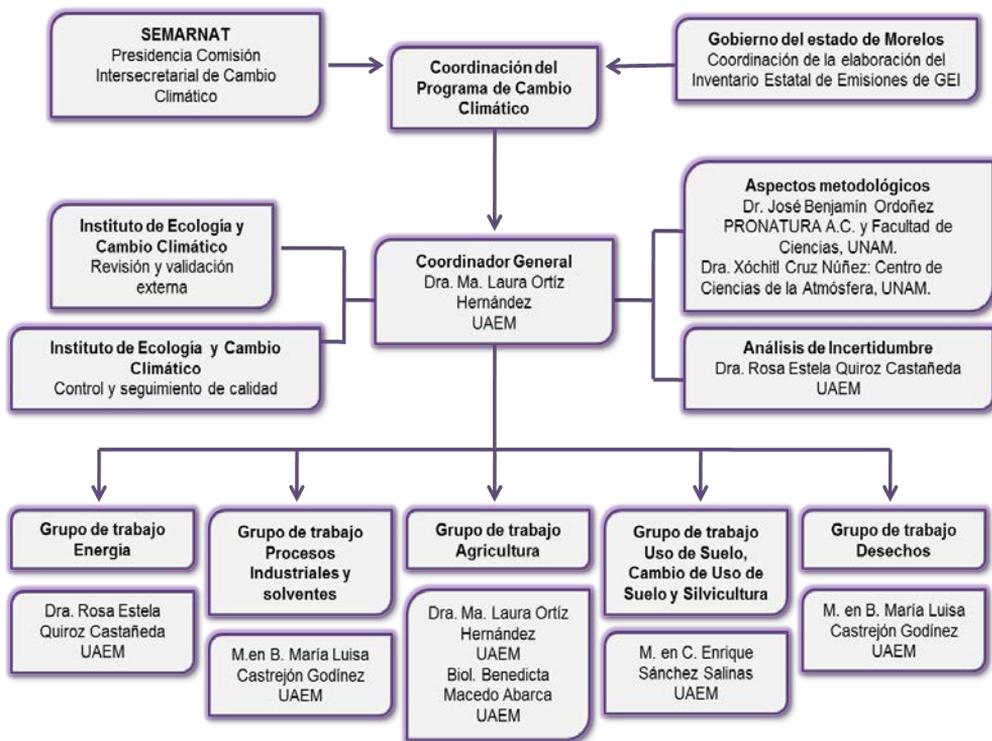
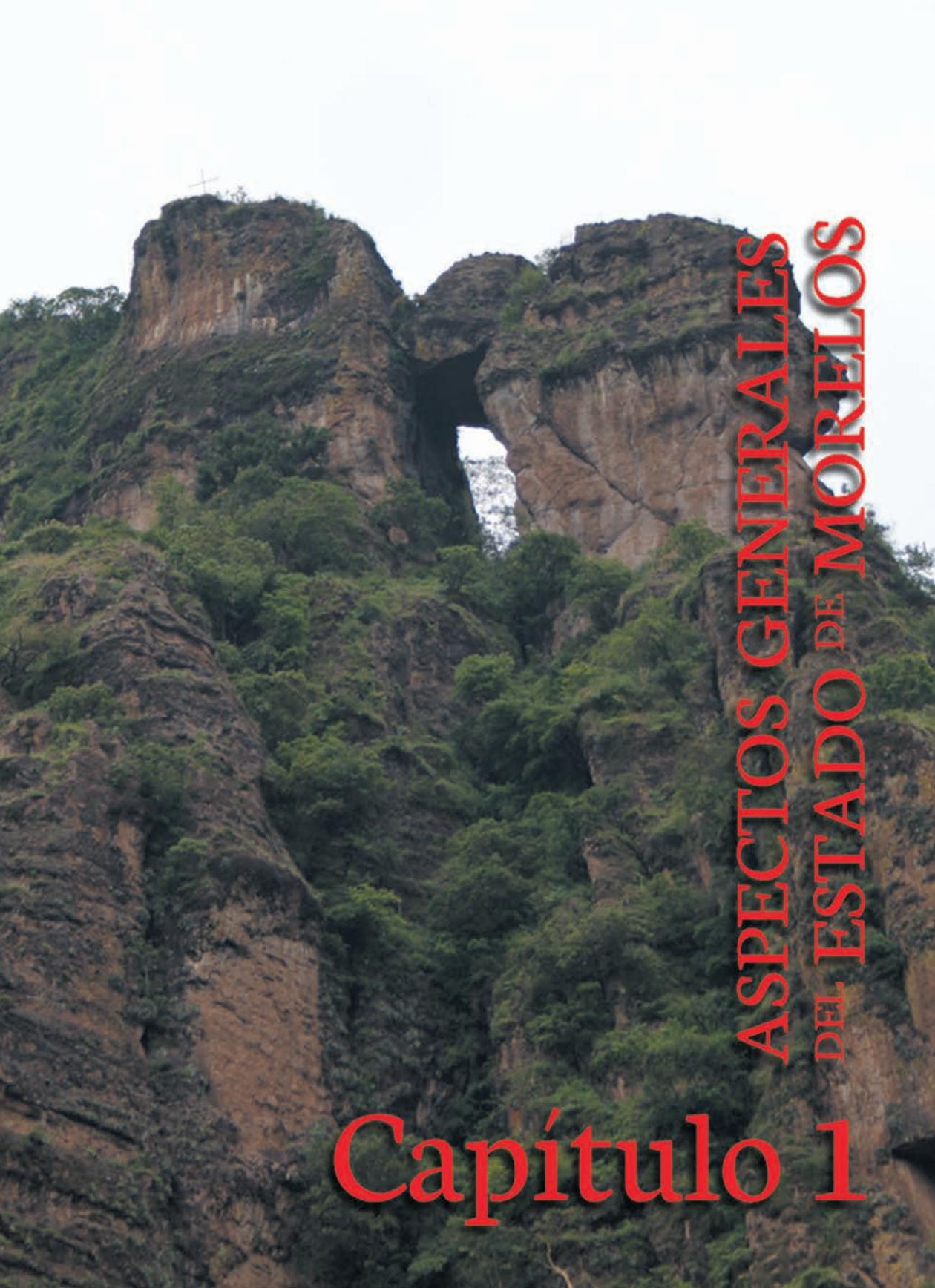


Figura 1. Estructura de los responsables que participaron en la elaboración del Inventario de Emisiones de GEI del estado de Morelos.



ASPECTOS GENERALES
DEL ESTADO DE MORELOS

Capítulo 1

CAPÍTULO 1

ASPECTOS GENERALES DEL ESTADO DE MORELOS

1.1. Aspectos físicos

El estado de Morelos fue creado en sesión del Congreso de la Unión con fecha 1 de diciembre de 1868, el decreto fue expedido por el presidente Juárez el 17 de abril de 1869 (Pérez, 2006 y Gobierno del Estado de Morelos, 1989). Está localizado en la parte central de la República Mexicana, en la zona de transición entre la Región Neártica y la Neotropical, en la vertiente del sur de la sierra de Chichinautzin y dentro de la cuenca del Río Balsas. Está situado geográficamente entre los paralelos 18°20'02" y 19°07'51" de latitud norte y los meridianos 99°37'08" y 99°30'21" de longitud oeste respecto al meridiano de Greenwich (Aguilar, 2006a). En cuanto a la extensión de la entidad, existen divergencias entre instituciones y autores (Aguilar *et al.*, 2006), pero la cifra oficial reportada por el Anuario estadístico del estado de Morelos es de 4,961 km² y representa el 0.2% de la superficie total del país. Colinda al norte con el Distrito Federal y el Estado de México; al sur con Guerrero; al este con Puebla; y al oeste con el Estado de México y Guerrero (Figura 1.1). Está dividido en 33 municipios (INEGI-Gobierno del Estado de Morelos, 2010).

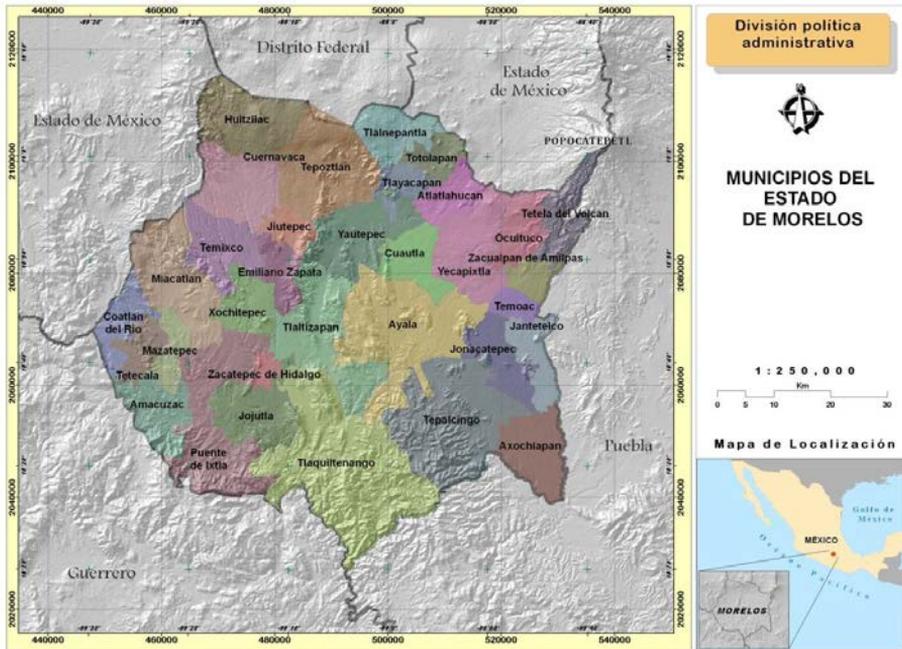


Figura 1.1. Localización del estado de Morelos.

Las fronteras naturales del estado son: al norte, la sierra del Ajusco y el volcán Popocatepetl; al sur, los ríos Amacuzac y Tepalcingo; al oriente, la sierra de Puebla y el río Mexapa, y al poniente la sierra de Ocuilan y Cholula (Sarmiento, 1997). Presenta una condición muy especial: se trata de la región donde ocurre el contacto entre dos grandes provincias fisiográficas del centro de México: El Cinturón Volcánico Transmexicano (CVT) y la Sierra Madre del Sur (SMS). La primera se localiza al Norte y la segunda al Sur, donde está formada por las sierras de Tilzapotla y Huautla. Entre ambas provincias aparece la Zona de Valles (ZV) que a escala regional constituye la transición entre el CVT y la SMS. Esta zona coincide además con la transición entre las provincias biogeográficas Neártica y Neotropical (Aguilar, 2006a y Boyás *et al.*, 2001).

Las formas del relieve del estado presentan variadas altitudes que van desde 3,000 msnm, en las sierras del Norte en los límites con el Distrito Federal; hasta los 850 metros en la parte de la región de Huautla, municipio de Tlaquiltenango y algunas zonas de las márgenes del río Amacuzac (Aguilar, 2006a y Aguilar, 2006b). Su marcado gradiente altitudinal en dirección norte-sur propicia una amplia riqueza de especies reunidas en ambientes diversos.

En la zona norte se localiza el macizo de bosque templado de coníferas más importante del estado, dentro del cual se ubica el Corredor Biológico Ajusco-Chichinautzin, que es la zona más importante de recarga de acuíferos del estado. La zona centro o de valles es la que tiene la mayor concentración urbana y poblacional (71.3%) en el estado. Presenta una topografía accidentada (mesetas y barrancas), zonas de alojamiento de corrientes subterráneas, suelos fértiles y es una zona de transición de ecosistemas. En la zona sur se encuentra el macizo de selva baja caducifolia más importante del estado, que incluye la Reserva de la Biósfera Sierra de Huautla. En esta zona existe un desarrollo agrícola y pecuario intensivo, un acelerado crecimiento de conurbaciones, y una fuerte presión de cambio de uso de suelo de agrícola a urbano. En esta región se presentan las zonas más marginadas del estado y una importante contaminación de cuerpos de agua.

Morelos se caracteriza por presentar una gran diversidad climática, sin influencia marina dominante, ya que en ocasiones se ve influenciado por fenómenos del Golfo de México y en otras del Océano Pacífico. Así, la región cuenta con, al menos, seis diferentes tipos y subtipos de clima. De acuerdo con el mapa de climas de Köppen, modificado por García (1987), presenta un clima templado con lluvias en verano (Cw) en la región norte, mientras que el resto del estado presenta climas cálidos con lluvias en verano (Aw). García (1988), a su vez, describe que la mayor parte del estado de Morelos (zonas centro y sur) presenta un clima cálido subhúmedo (Aw0), mientras que en la zona norte el clima va variando desde semicálido con lluvias en verano, templado, semifrío, hasta muy frío en las partes elevadas del Volcán Popocatepetl (Taboada *et al.*, 2009).

Los valores más altos de precipitación para el estado de Morelos se registran en las estribaciones de la sierra Chichinautzin y los límites superiores de Huitzilac y las lagunas de Zempoala, así como en las faldas del volcán Popocatepetl con precipitaciones anuales superiores a 1500 mm (Taboada *et al.*, 2009). En las partes altas de las sierras Chichinautzin y Zempoala y el volcán Popocatepetl, la precipitación supera a la evapotranspiración, lo que favorece la recarga de acuíferos en los valles de Cuernavaca, Cuautla y Yauatepec (Jaimes-Palomera, 1989 y Vázquez *et al.*, 1989). Una precipitación promedio anual de 876 mm para el estado de Morelos corresponde a un volumen medio anual de 4,328 millones de metros cúbicos (Breña, 2004).

Para el caso de la temperatura en la entidad, el mes de enero es el más frío; los valores más bajos se reportan para localidades de los municipios de Tetela del Volcán y de Huitzilac, con 6.7 y 7.5°C respectivamente. En las localidades de Tilzapotla y Xicatlacotla se presentan las temperaturas promedio más altas con 29.6°C y 29.1°C, respectivamente, los meses de abril y mayo como los más calientes del año (Taboada *et al.*, 2009).

Para el caso de los suelos, el estado de Morelos está caracterizado por la presencia de diferentes unidades edáficas, entre las cuales se pueden mencionar las siguientes, junto con los porcentajes que ocupan con respecto a la superficie total del estado: Leptosoles (26.82%), Vertisoles (21.93%), Andosoles (13.66%), Regosoles (10.77%), Feozems (10.37%), Castañozems (3.29%), Durisoles (2.79%), Arenosoles (2.49%), Calcisoles (1.2%), Cambisoles (1.10%), Luvisols (0.70%), Chernosems (0.40%), otros como Acrisoles, Litosoles, Rendzinas, y Fluvisoles (3.49%) (Aguilar, 2006a y 2006b; INEGI-Gobierno del Estado de Morelos, 2010).

Desde el punto de vista de su hidrología, el estado de Morelos se encuentra localizado en su totalidad dentro de la gran cuenca del río Balsas (Región Hidrológica No. 18), una de las más grandes del país ya que cuenta con una extensión territorial de 117,405 km², lo que representa el 5.8% del área total de la República Mexicana (Avalos y Palerm, 2003). Morelos es el único estado que se encuentra inserto dentro de esta gran cuenca en su totalidad y se ubica específicamente en la porción denominada Alto Balsas, la cual, a su vez, está compuesta por cuencas más pequeñas de las que resaltan las cuencas de los ríos Amacuzac y Nexapa. La mayor parte del estado de Morelos se encuentra dentro de la cuenca del río Amacuzac (87% de su territorio) y el resto en la cuenca del río Nexapa (Aguilar, 2006b).

También se presentan numerosas corrientes que siguen la pendiente de norte a sur. Las corrientes de aguas superficiales que corresponden a la cuenca del Amacuzac son los ríos Cuautla, Yauatepec, Tembembe, Apatlaco, Alto Amacuzac y Bajo Amacuzac y cubren en su conjunto el 86.78% de la superficie estatal. La única

subcuenca intermedia del Atoyac es la del río Nexapa, la cual cubre, por su parte, el 13.26% del territorio estatal (Aguilar, 2006b y Delgadillo, 2000).

Para el caso de las aguas subterráneas, la dirección predominante del flujo de agua subterránea es norte-sur y norte-suroeste. Morelos es uno de los estados de la República Mexicana con mayor número de manantiales, en proporción con su territorio (Aguilar, 2006b). En el estado de Morelos existen cuatro acuíferos alojados en los valles de Cuernavaca, Cuautla-Yautepec, Axochiapan-Tepalcingo y Zacatepec.

1.2. Aspectos biológicos

Con base en el sistema de seis regiones biogeográficas, el estado de Morelos se sitúa justo en la Zona de Transición Mexicana de Montaña o Región Mesoamericana de Montaña, entre las regiones Neártica y Neotropical (Challenger y Soberon, 2008, Aguilar, 2006b y Boyás *et al.*, 2001). Al norte del estado le corresponde la región Neártica, cuya vegetación predominante son algunas variantes de bosques y matorrales de clima frío y templado. Entre los grupos característicos de esta región están las coníferas, como pinos (*Pinus*), oyameles o abetos (*Abies*) y enebros (*Juniperus*), además de los encinos (*Quercus*). Al sur de la Sierra Volcánica Transversal se ubica la región Neotropical, con vegetación propia de climas cálidos y húmedos, donde predomina la selva baja caducifolia hacia el centro y sur del territorio morelense (Delgadillo, 2000), además de pastizales, matorrales subalpinos, bosques mesófilos (en áreas de cañadas), vegetación ribereña y tierras urbanas y de cultivo. La presencia de matorrales xerófilos y selva baja caducifolia en ocasiones se debe a la presencia de derrames lávicos y en otros casos debido al efecto de sombra pluvial, sobre todo en las zonas de contacto con provincias vecinas. La segunda provincia es la del Balsas, la cual es un área extensa confinada por el Eje Neovolcánico y la Sierra Madre del Sur; estas elevaciones producen un doble efecto de sombra lluviosa, por lo que los climas predominantes son semiáridos y subhúmedos en dos terceras partes de su área, lo que trae como consecuencia el que la vegetación más ampliamente distribuida sea la selva baja caducifolia y su ecotono con los bosques de encinos. Hay gran cantidad de endemismos que dan identidad a esta área como una provincia (Benítez *et al.*, 1998 y Espinosa *et al.*, 2008).

En el estado de Morelos se ha avanzado mucho en el conocimiento de su biodiversidad, sobre todo en lo referente a los grupos más conspicuos como hongos, fanerógamas y vertebrados; sin embargo, varios grupos de plantas y animales han sido poco estudiados, e incluso algunas regiones no han sido lo suficientemente exploradas desde el punto de vista botánico y zoológico, así que respecto a los microorganismos e invertebrados todavía falta mucho por conocer (Contreras-MacBeath *et al.*, 2006).

Los estudios ficoflorísticos realizados en el estado de Morelos demuestran que es un área rica en especies de algas, tanto fitoplanctónicas como filamentosas. Este grupo vegetal no ha sido ampliamente estudiado en la entidad; sin embargo, se han registrado hasta el momento cerca de 300 especies de algas, pertenecientes a 84 géneros y 24 familias (Contreras-MacBeath *et al.*, 2006; Valadez *et al.*, 1996; Molina *et al.*, 2010; García *et al.*, 2010 y García-Rodríguez *et al.*, 2003). Por su parte, el conocimiento en la diversidad de hongos en Morelos es amplio (Villarueal-Ordaz y Cifuentes, 2007). En la entidad se tienen registradas 480 especies de hongos, la mayoría de las cuales se distribuyen en la zona templada; de ahí que particularmente para el Corredor Biológico Ajusco-Chichinautzin se tengan registradas 315 especies (Contreras-MacBeath *et al.*, 2006 y Contreras-MacBeath y Urbina, 1995). Para el caso de musgos y hepáticas, en Morelos se han realizado diferentes estudios sobre bryophytas, destacando los de Mendoza (2008), Jiménez *et al.* (2003) y Zander (1978).

En cuanto a las plantas vasculares, con base en datos de Llorente-Bousquets y Ocegueda (2008), y Villaseñor (2004) se estima que el estado de Morelos posee una riqueza de plantas vasculares (helechos y plantas afines, gimnospermas y angiospermas) de 1710 de un total nacional de 23,424, lo que representa aproximadamente el 7.3%, aunque Bonilla y Villaseñor (2006) reportan 3,345 especies de plantas vasculares (10% del nacional).

Morelos cuenta con una riqueza de especies de invertebrados y vertebrados. Se tienen registradas 3,007 de artrópodos y 15 de helmintos (Contreras-MacBeath *et al.*, 2002). Llorente-Bousquets y Ocegueda (2008) reportan 2,832 especies de artrópodos, agrupados en ocho taxones diferentes. De acuerdo con Flores y Geréz (1994), el estado de Morelos ocupa el lugar 13 en diversidad de vertebrados mesoamericanos, con 195 especies, y el lugar 22 en cuanto a especies endémicas estatales en el país. Por otro lado, Contreras-MacBeath *et al.* (2002 y 2006) señalan que en el estado de Morelos se tienen registradas 26 especies de peces, 24 de anfibios, 79 de reptiles, 370 de aves y 101 de mamíferos, mientras que Llorente-Bousquets y Ocegueda (2008) reportan 502 especies de vertebrados para Morelos.

1.3. Aspectos socioeconómicos

Morelos es uno de los estados más pequeños de la República Mexicana —sólo Tlaxcala y el Distrito Federal tienen dimensiones menores—; en correspondencia con su extensión y de acuerdo con los datos del Censo de Población y Vivienda 2010, Morelos ocupa el lugar vigésimo tercero entre las entidades del país por lo que hace al número de habitantes (INEGI, 2011a), pero es el tercer estado en cuanto a densidad de población, sólo después del Distrito Federal y del Estado de México. Para el año 2010 Morelos ocupó el lugar 23 a nivel nacional por su población total y presentó una tasa de crecimiento anual del 2%. El Censo de Población y Vivienda

reportó una población total de 1,612,899 y de 1,777,227 para los años 2005 y 2010, respectivamente.

La proporción de la población analfabeta de 15 años o más para el período 2005-2010 fue de 6.4%, por abajo de la media nacional (6.9%). Respecto a la proporción de la población de cinco a 14 años que asistía a la escuela en el período 2005-2010, Morelos ocupó el lugar 26 con 93.6%, por abajo de la media nacional con un valor de 94% (INEGI, 2011a). La estructura de la población de 15 años y más por nivel de instrucción se presenta en el cuadro 1.1.

Cuadro 1.1. Estructura de la población de 15 años y más por nivel de instrucción, período 2005-2010.

Nivel de Instrucción	% de la población	
	Estatal	Nacional
Sin escolaridad	6.9	6.9
Educación básica	54.7	56.1
Estudios Técnicos o comerciales con primaria terminada	0.4	0.6
Educación media superior	20.6	19.3
Educación superior	17.0	16.5

Fuente: INEGI, 2011a.

En cuanto a indicadores de los servicios médicos de las instituciones públicas en el estado de Morelos, para el año 2009 se contaba con 1.5 médicos por cada mil habitantes, 0.4 médicos generales o familiares por cada mil habitantes y 0.8 médicos especialistas para la misma población. Para el mismo año, por cada mil habitantes se contaba con 16.4 unidades de consulta externa, 0.8 unidades de especialidad y 0.5 camas censables. Se contaba con 6 consultorios por cada diez mil habitantes y 2.4 quirófanos por cada cien mil (INEGI, 2011a).

En cuanto a la proporción de la población de 14 años y más de edad disponible para la actividad económica, es decir, la tasa de participación económica, tuvo un valor de 58.6%, por arriba del promedio nacional con 58.0%. Sin embargo para el primer trimestre del 2011 la tasa neta de participación económica por sexo presentó un comportamiento heterogéneo, 73.5% para hombres y 42.1% para mujeres. La población económicamente activa es de 57% y la proporción de la población económicamente activa ocupada para el estado de Morelos fue de 95.9% (INEGI, 2011a).

En el estado de Morelos, la población ocupada para el primer trimestre de 2011 fue de 11.5% en el sector primario, 23.2% en el sector secundario, 65.1% para el sector terciario y 0.2% no especificado. De acuerdo al nivel de ingresos el 30.3% percibe

hasta dos salarios mínimos, 30.5% más de dos a cinco salarios mínimos, 6.1% no recibe ingresos y 3.5% percibe más de cinco salarios mínimos (INEGI, 2011a).

El Producto Interno Bruto (PIB) del estado de Morelos ascendió de 90.33 millones de pesos a 148.76 millones de pesos del año 2003 al 2011. Para el año 2011, Morelos participaba con el 1.07% del PIB nacional y ocupaba el lugar 26 a nivel nacional (INEGI, 2012). Para el caso del Índice de Desarrollo Humano, la información más reciente ubica a Morelos entre los estados con desarrollo humano alto (IDH mayor o igual a 0.80). Su posición en la clasificación nacional ha mejorado, al pasar del año 2000 con 0.78 a 0.82 en el año 2008 (PNUD, 2011).



PE

TELEFONO ORIGINAL
TEL. 3154313



APAGUE EL MOTOR



CON CALIDAD PEMEX
CALIDAD, SERVICIO, EXCELENCIA



APAGUE EL MOTOR



NO TOCAR



ENERGÍA

Capítulo 2

CAPÍTULO 2 ENERGÍA

2.1. Introducción

En este apartado se calcularon, para la categoría de Energía, las emisiones de GEI provenientes de las fuentes de combustión del estado de Morelos, basados en las Directrices del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático-Manual de referencia (1996b). Los GEI que se reportan corresponden a las emisiones generadas por el consumo de combustibles fósiles procedentes de diversas subcategorías. De acuerdo a las directrices del PICC en el Manual de referencia (1996b), en la estimación de datos de la categoría de Energía se consideran las subcategorías mostradas en el cuadro 2.1.

Cuadro 2.1. Subcategorías incluidas en la categoría Energía.

Subcategoría	Incluye
Consumo de combustibles fósiles por fuentes fijas de combustión	Industria manufacturera y de la construcción
Consumo de combustibles fósiles por fuentes móviles de combustión	Transporte terrestre Transporte acuático Transporte aéreo
Consumo de combustibles fósiles por otras subcategorías	Comercial Residencial Agrícola

Las emisiones que se cuantifican corresponden al CO₂, el CH₄ y el N₂O, así mismo se reporta la emisión de gases indirectos como los NO_x, el CO y los COVDM. De manera independiente a las subcategorías descritas por el PICC, se hace un análisis acerca del consumo de energía eléctrica en Morelos, cuya aportación es importante discutir para, posteriormente, proponer medidas de mitigación.

2.2. Metodología

Para la realización del inventario de emisiones de GEI correspondiente a la categoría de Energía se utilizó el módulo 1 del software gratuito (PICC, 1996c) dispuesto por la CMNUCC, en donde, a partir de la información recabada, se realizaron las estimaciones correspondientes. Los ocho archivos que conforman este programa (CMNUCC_NAI_IS_132.zip) se pueden descargar directamente de la dirección electrónica http://unfccc.int/national_reports/nonannex_i_natcom/

training_material/methodological_documents/items/349.php.¹ De acuerdo a las Directrices del PICC en el Manual de referencia, Volumen 3 (1996d), los datos reportados en los inventarios se clasifican de acuerdo al nivel de detalle con que se estiman. Actualmente, la información con la que se cuenta en el estado de Morelos, permite utilizar la metodología en un Nivel 1 (Tier 1).

2.2.1. Fuentes de información de datos de actividad en la categoría Energía

Los datos de actividad que se utilizaron para el cálculo de los GEI, de esta categoría, fueron obtenidos de las fuentes que se muestran en el cuadro 2.2.

Cuadro 2.2. Fuentes de información para los datos de actividad que se utilizaron para el cálculo de los GEI.

Dato obtenido	Institución de procedencia	Fuente
Estadísticas de consumo de combustible (gasolinas y diesel) para transporte terrestre.	Secretaría de Energía	Sistema de Información Energética (SIE). Valor de las ventas internas de petrolíferos por entidad federativa. http://sie.energia.gob.mx
	Superintendencia General de Atención General y Subgerencia de Ventas Regional Centro-PEMEX	Comunicación personal
Estadísticas de consumo de combustible (turbosina) para transporte aéreo.	Aeropuerto Mariano Matamoros, Cuernavaca, Morelos	Comunicación personal
Estadísticas de consumo de combustible (gasolina) para transporte acuático.	Capitanía de Puerto de Tequesquitengo, Morelos	Comunicación personal
Estadísticas del consumo de gas LP para uso en fuentes fijas y móviles.	Secretaría de Energía	Cuadros estadísticos, Prospectivas del mercado de gas LP 2010-2025. http://www.sener.gob.mx/portal/publicaciones.html
Consumo de leña	INEGI	Censo Agrícola, Ganadero y Forestal-2007. http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/agro/default.aspx

¹ Debido a las actualizaciones frecuentes de los programas y páginas electrónicas, los nombres de los archivos y sus ubicaciones pueden variar, en ese caso se recomienda hacer una búsqueda con los términos "UNFCCC software for GHG inventories" (Ordoñez et al., 2009).

2.2.2. Subcategoría de las fuentes fijas de combustión

En esta subcategoría se agrupan las fuentes de emisiones de GEI que pertenecen al rubro de la industria manufacturera y de la construcción. La industria manufacturera de Morelos ocupa el lugar 19 a nivel nacional, con una participación porcentual del 24.1% al Producto Interno Bruto (PIB) estatal en 2009. En tanto que la industria de la construcción del estado ocupa el lugar 25 a nivel nacional y su aportación al PIB estatal es del 9% (INEGI, 2011a).

Hasta el 2008, se tenían registradas 8,178 unidades económicas pertenecientes a la industria manufacturera y 158 unidades de la construcción (INEGI, 2011a). Dentro de la industria manufacturera se identifican a los procesos relacionados con la fabricación de equipo de transporte, con la industria alimentaria, química, insumos textiles, plástico y hule; así como la fabricación de equipo de computación, medición y componentes y accesorios electrónicos.

2.2.2.1. Datos de actividad

En el Sistema de Información Energética, dependiente de la Secretaría de Energía (SIE-SENER), no existen datos que reporten el consumo de otros combustibles como el gas natural, combustóleo y gasóleo en esta categoría para el estado de Morelos. Para el caso del consumo de gas LP en la subcategoría de fuentes fijas, específicamente en la industria, la cifra fue de 18,495.56 ton en el 2005 (875.02 TJ), con un incremento en el año 2007 a 25,030.85 ton (1,184.21 TJ), y para el año 2009 se registró una disminución en su consumo (18,556.72 ton, 877.92 TJ) (Figura 2.1).

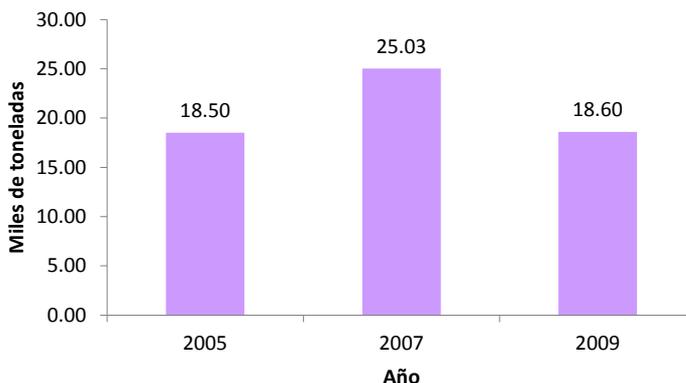


Figura 2.1. Consumo de gas LP en la Industria en Morelos. Fuente: Prospectiva del mercado de gas LP 2009-2024 (http://www.sener.gob.mx/res/PE_y_DT/pub/Prospectiva_gasLP_2009-2024.pdf).

2.2.3. Subcategoría de las fuentes móviles de combustión

La información que se desglosa en esta subcategoría corresponde al transporte terrestre, acuático y aéreo. En Morelos, se tienen registradas, hasta el 2009, flotas de carga y de pasaje (transporte turístico), así como del número de aeronaves comerciales (INEGI, 2011a). Además, se ubica en dicho estado el lago de Tequesquitengo, que registra una importante flota de de vehículos acuáticos al tratarse de un destino turístico representativo.

2.2.3.1. Datos de actividad

El mayor consumo de energía por fuentes móviles de combustión en el estado de Morelos fue de gasolina Magna en el año 2009. En el cuadro 2.3 se muestra el consumo de gasolinas, diesel, gas LP y turbosina por fuentes móviles, durante los años 2005, 2007 y 2009. Se observa un aumento gradual e importante en el consumo de gasolina Magna, de tal manera que en el 2009 se registró un 26.69% con respecto al año base. Para el caso de la gasolina Premium, se presentó una disminución significativa del 31.61% en el consumo, y un incremento del 14.42% en el consumo de diesel.

Cuadro 2.3. Consumo de gasolinas, diesel y gas LP en la subcategoría de fuentes móviles de combustión.

Combustible	2005		2007		2009	
	(Ton)	TJ	(Ton)	TJ	(Ton)	TJ
Pemex Magna	435,694.29	24,241.26*	479,889.82	25,718.42*	552,000.61	27,964.51*
Pemex Premium	105,003.52		91,232.49		71,807.18	
Diesel	158,001.38	6,794.06	171,113.63	7,357.89	180,790.31	6,920.74
Gas LP	23,124.71	1094.03	22,236.95	1052.59	20,188.33	955.11
Turbosina	1,064.74	47.48	3,845.50	173.05	917.94	40.93
TOTAL	722,888.64	32,176.83	768,318.39	34,301.95	825,704.37	35,881.29

Fuente: SIE-SENER (<http://sie.energia.gob.mx>), comunicación personal de la Superintendencia General de Atención General y Subgerencia de Ventas Regional Centro-PEMEX, comunicación personal de la Capitanía de Puerto de Tequesquitengo, Morelos y comunicación personal del Aeropuerto Internacional General Mariano Matamoros.*Este consumo de gasolina en TJ incluye Magna y Premium en transporte terrestre y acuático.

El consumo del gas LP registró una disminución del 12.69% en 2009 respecto al 2005; para el caso de la turbosina, entre el 2005 y el 2007, el consumo se incrementó en más del 300%; sin embargo, para el 2009 disminuyó significativamente debido al cierre de algunos vuelos de carácter nacional (Cuadro 2.3).

De todos los combustibles utilizados en el transporte, se consumen principalmente las gasolinas (Premium y Magna), seguidas del diesel, el gas LP y, en menor cantidad, la turbosina. En la figura 2.2, se muestra que la tendencia en el número de vehículos automotores ha aumentado en los últimos años (INEGI, 2011a), lo que implicaría un mayor consumo de combustible, que coincide con el incremento del consumo de gasolina Magna, principalmente.

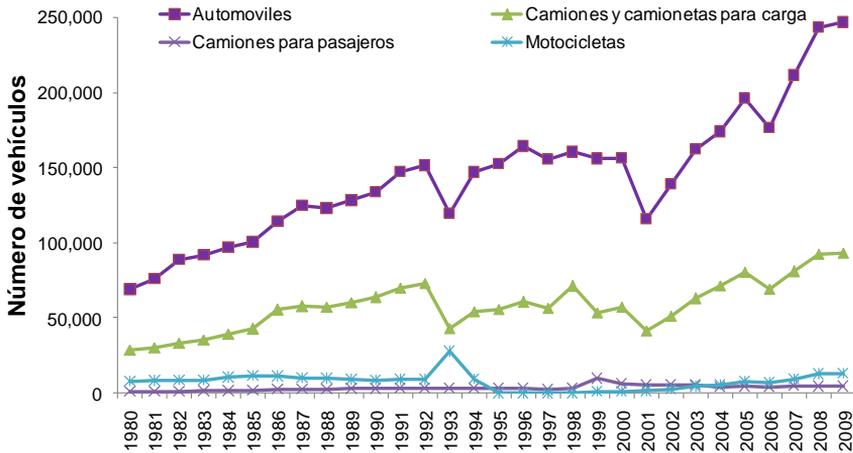


Figura 2.2. Incremento del parque vehicular del 1980 al 2009 en Morelos. Fuente: INEGI, 2011b.

2.2.4. Subcategoría de otras fuentes de combustión (residencial, comercial y agrícola)

En Morelos, el desarrollo residencial ha incrementado en años recientes, de hecho, hasta el 2008, el estado ocupaba el 14^o lugar en edificación residencial. Dentro del rubro comercial, se reportan unidades económicas de comercio al por mayor y menor que posicionan al estado en el 22^o y 24^o lugar, respectivamente. Las actividades comerciales que predominan son el comercio al por mayor de abarrotes, alimentos, bebidas, hielo y tabaco, materias primas agropecuarias y forestales, así como el comercio al por menor de vehículos de motor, refacciones, combustibles y lubricantes, ferretería, tlapalería, textiles, artículos de decoración, vestido y calzado. En 2008, predomina la presencia de micro industrias, que representan el 98.8% del total de las unidades económicas estatales (INEGI, 2011b). A pesar de que en el estado la actividad agrícola es importante y se destina una cantidad importante de la tierra al cultivo de un gran número de productos, la maquinaria agrícola es una herramienta poco utilizada, por el contrario, la ayuda animal y la mano de obra son aún la opción empleada.

2.2.4.1. Datos de actividad

El gas LP en Morelos es el principal combustible utilizado en estas subcategorías, la información relacionada con el consumo se obtuvo a partir de las cifras reportadas en el SIE (<http://sie.energia.gob.mx>) dentro del sector residencial, comercial (incluyendo servicios) y agrícola. En el año 2009, el consumo de gas LP en la subcategorías comercial, residencial y agrícola fue de 6,958.88 TJ, lo que representa una disminución del 9.97% respecto al año 2005. Se observa una tendencia a la baja en el consumo de gas LP en la subcategorías residencial y agrícola (Cuadro 2.4). Es importante mencionar que en Morelos al menos hasta el año 2009 no se reporta consumo de gas natural (SENER, 2010).

Cuadro 2.4. Consumo de gas LP y leña en las subcategorías comercial, residencial y agrícola.

Subcategoría	Consumo					
	2005		2007		2009	
	Ton	TJ	Ton	TJ	Ton	TJ
Comercial	28,762.42	1,360.75	34,994.08	1,655.57	31,874.87	1,508.00
Residencial	130,610.02	6,179.16	126,463.96	5,983.01	114,024.94	5,394.52
Residencial (leña)	1.93	0.03	1.93	0.03	1.93	0.03
Agrícola	4,018.18	190.10	1,145.85	54.21	1,190.66	56.33
TOTAL	163,392.55	7,730.04	162,605.82	7,692.82	147,092.40	6,958.88

Fuente: SIE-SENER, consumo de gas LP en el sector residencial, comercial y agrícola (<http://sie.energia.gob.mx>).

Es importante destacar el hecho de que en el estado de Morelos no existe la industria para la generación de energía ni la industria de refinería y como consecuencia, no se reportan estos datos en IEGEIEM. De manera similar, en la entidad, no se almacenan los combustibles utilizados en el transporte acuático y aéreo internacional (bunkers) y por lo tanto no se consideran en este reporte.

2.2.5. Balance de energía del estado de Morelos

En el estado de Morelos el consumo de combustibles en el año 2009 fue de 43,717.90 TJ, lo que significa un incremento del 7.20% respecto al 2005. Este consumo incluye a los sectores industrial, comercial, residencial, agrícola y de transporte. Durante los años 2005, 2007 y 2009, el mayor consumo de combustible se registró en el transporte, seguido de consumo en los sectores residencial, comercial, industrial y agrícola. Para la parte residencial se incluye el consumo de leña, el cual fue de 0.03 TJ en cada año. En el cuadro 2.5, se muestra el consumo por sectores para los años 2005, 2007 y 2009. Dentro del consumo en el transporte se incluye al terrestre, al acuático y al aéreo.

Cuadro 2.5. Consumo de combustibles por subcategorías en el estado de Morelos.

Subcategoría	Consumo					
	2005		2007		2009	
	Ton	TJ	Ton	TJ	Ton	TJ
Fuentes móviles						
Transporte* (gasolina)	541,099.55	24,241.26	574,072.10	25,718.43	624,207.81	27,964.51
Transporte (gas LP)	23,124.71	1,094.03	22,248.78	1,052.59	20,188.33	955.11
Transporte (diesel)	156,798.06	6,794.06	169,810.52	7,357.89	159,721.67	6,920.74
Transporte (turbosina)	1,064.81	47.48	3,880.92	173.05	917.92	40.93
Total transporte	722,087.14	32,176.83	770,012.32	34,301.96	805,035.73	35,881.29
Fuentes fijas						
Industrial (gas LP)	18,491.65	874.84	25,025.58	1,183.96	18,552.74	877.73
Total fuentes fijas	18,491.65	874.84	25,025.58	1,183.96	18,552.74	877.73
Otros sectores						
Comercial (gas LP)	28,762.42	1,360.75	34,994.08	1,655.57	31,874.87	1,508.00
Residencial (gas LP)	130,610.02	6,179.16	126,463.96	5,983.01	114,024.94	5,394.52
Residencial (leña)	1.93	0.03	1.93	0.03	1.93	0.03
Agrícola (gas LP)	4,018.18	190.1	1,145.85	54.21	1,190.66	56.33
Total otros sectores	163,392.55	7,730.04	162,605.82	7,692.82	147,092.40	6,958.88
TOTAL	903,971.33	40,781.71	957,643.72	43,178.74	970,680.87	43,717.90

Fuente: Elaboración propia con información de SIE-SENER (<http://sie.energia.gob.mx>), comunicación personal del Aeropuerto Internacional General Mariano Matamoros y de la Capitanía de Puerto, Tequesquitengo, Morelos. *Se incluye el consumo de gasolina Magna y Premiun en el transporte terrestre y acuático.

El consumo total de los diferentes tipos de combustible (gas LP, gasolina, turbosina y leña) de la entidad se muestran de manera resumida en el cuadro 2.6, así como su incremento o disminución porcentual en el año 2009 respecto al 2005. La dirección de la flecha en el cuadro indica disminución o incremento.

2.2.5.1. Factores de emisión

Debido a que no se cuentan con valores nacionales o regionales de los factores de emisión, se utilizaron los valores por defecto que se indican en las tablas 1-2, 1-3 y 1-4 del Volumen 2 Libro de Trabajo, de las Directrices revisadas en el Manual de referencia (1996c) del PICC sobre la elaboración de los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero (Cuadro 2.7).

Cuadro 2.6. Consumo de los diferentes tipos de combustibles en el estado de Morelos.

Combustible	Consumo (TJ/año)			Comparación de 2009 respecto al año base 2005
	2005	2007	2009	
Gas LP*	9,698.89	9,929.34	8,791.69	9.35 % ↓
Gasolina**	24,241.26	25,718.43	27,964.51	15.35% ↑
Diesel	6,794.06	7,357.89	6,920.74	1.86 % ↑
Turbosina	47.48	173.05	40.93	13.79 % ↓
Leña§	0.03	0.03	0.03	sin cambio
TOTAL	40,781.72	43,178.74	43,717.90	7.19% ↑

*Corresponde al consumo de gas LP en el sector industrial, residencial, comercial, agricultura y transporte. **Incluye el consumo de gasolinas Premium y Magna en el transporte terrestre y acuático. §Corresponde al uso de la leña en la subcategoría residencial.

Cuadro 2.7. Datos de los factores de emisión, fracción de carbono oxidado y valores calóricos netos empleados para estimar las emisiones de los combustibles utilizados en el estado.

Factores de emisión de carbono (FEC)		Valores calóricos netos seleccionados	
Combustible	(t C/TJ)	Combustible	(TJ/Unit)
Gasolina	18.9	Gasolina	0.045
Turbosina (queroseno para aviación)	19.5	Turbosina (queroseno para aviación)	0.045
Gas LP	17.2	Gas LP	0.047
Diesel	20.2	Diesel	0.043
Biomasa sólida (leña)	29.9		
Fracción de carbono oxidado			
Petróleo y derivados del petróleo	0.99		
Gas LP	1.00		

Fuente: Tablas 1-2, 1-3 y 1-4 del Volumen 2 Libro de Trabajo, de las Directrices revisadas del PICC (1996d).

2.2.6. Cálculo de emisiones de GEI

El método que se siguió para realizar el inventario de las emisiones generadas en la categoría de Energía, consistió en identificar las fuentes de emisión, obtener los datos de actividad y realizar los cálculos requeridos de acuerdo con la metodología propuesta en las Directrices para el Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero, elaboradas por el PICC (1996d), Volumen 2, Libro de trabajo. De acuerdo con la información que se dispone en el estado de Morelos, se aplicó la estimación de emisiones en el Nivel I (Tier 1).

Para calcular las emisiones de CO₂, CH₄ y N₂O, se utilizó la ecuación reportada en el Manual de referencia del PICC, Volumen 3 (1996b):

$$\text{Emisiones}_{\text{GEI}} : \Sigma(\text{FE}_{\text{ab}} \times \text{Combustible consumido}_{\text{ab}})$$

Donde:

Emisiones_{GEI} = Emisiones de GEI (CO₂, CH₄, N₂O) por tipo de combustible (Gg).

FE = Factor de emisión por defecto o estimado, (kg/TJ), según tipo de combustible.

a = Tipo de combustible.

b = Sector-actividad.

Combustible consumido = Cantidad de combustible utilizado (TJ).

La elección del método a seguir está determinada por el grado de detalle de los datos de actividad disponibles.

2.3. Resultados

En el año 2009 hubo, en el estado de Morelos, un consumo de combustibles total de 43,717.90 TJ, lo que significa que se registró un aumento del 7.19% en el consumo de combustibles comparado con el año base 2005. El consumo de diesel no ha variado de manera importante a lo largo del período pero, por el contrario, ha habido un incremento en el consumo de gasolina (Magna y Premium) del 15.35% del año 2005 al 2009; en tanto que el gas LP mostró una disminución del 9.35% en el mismo período. Un caso especial es el consumo de turbosina, utilizada en la aviación, el cual se incrementó del 264.47% de 2005 a 2007 debido a la alta comercialización de vuelos por aerolíneas nacionales, posteriormente, ocurre una disminución del 76.34% en el consumo de turbosina durante el período 2007-2009, debido a que compañías aéreas que operaban vuelos en el aeropuerto, dejaron de operar.

2.3.1. Principales fuentes de emisiones de Gases de Efecto Invernadero en la categoría de Energía

En el cuadro 2.8 se muestran las emisiones de GEI por subcategoría, generadas durante los años 2005, 2007 y 2009 en el estado de Morelos. Brevemente, en 2005 se emitieron 2,773.28 Gg de CO₂; esta cantidad aumentó en 2009 cuando se emitieron 2,980.61Gg de CO₂, es decir, las emisiones de este GEI registraron un incremento del 7.48%. En el caso del CH₄, también se registró un incremento del 14.56% en sus emisiones en 2009 respecto al año base 2005; finalmente, las emisiones de N₂O en el estado no aumentaron en 2009.

Cuadro 2.8. Emisiones de GEI en la categoría de Energía en el estado de Morelos durante los años 2005, 2007 y 2009.

Subcategoría	Emisiones 2005 (Gg)			Emisiones 2007 (Gg)			Emisiones 2009 (Gg)		
	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
Transporte§	2,233.31	5.08	0.02	2,382.62	5.39	0.02	2,488.86	5.83	0.02
Residencial*	387.75	0.06	0.00	375.44	0.06	0.00	338.51	0.05	0.00
Comercial	85.39	0.01	0.00	103.89	0.02	0.00	94.63	0.02	0.00
Industrial	54.90	0.00	0.00	74.30	0.00	0.00	55.08	0.00	0.00
Agrícola	11.93	0.00	0.00	3.40	0.00	0.00	3.53	0.00	0.00
TOTAL	2,773.28	5.15	0.02	2,939.65	5.47	0.02	2,980.61	5.90	0.02

*Incluye el consumo de gas Lp y leña en el sector residencial. § Incluye el transporte terrestre, aéreo y acuático.

La subcategoría de fuentes móviles, que incluye los transportes terrestre, acuático y aéreo, es la principal fuente de emisión de CO₂; la segunda subcategoría en importancia para las emisiones del mismo gas es la residencial; por su parte, las subcategorías que presentan aportaciones menores son la comercial, industrial y agrícola. El transporte también es la principal fuente de emisión de CH₄, y para este mismo gas, las contribuciones de las otras subcategorías son menores a un Gg. Una situación similar se observa en las emisiones de N₂O, en donde el transporte genera una mayor cantidad de este GEI.

Utilizando los potenciales de calentamiento global (PCG), las emisiones de los diferentes GEI pueden compararse en CO₂ eq de acuerdo al tipo de actividad. En el cuadro 2.8 se observa que las emisiones totales de CO₂ eq en 2009 incrementaron en un 7.73% en comparación al año base 2005. Siendo éstas las principales emisiones provenientes de la subcategoría de fuentes móviles (transporte), seguidas de la residencial, y, en menor contribución, las subcategorías comercial, industrial y agrícola.

En el cuadro 2.9 se muestran también las contribuciones porcentuales de cada subcategoría para la identificación de la fuentes clave de emisión, las cuales son las subcategorías responsables de la emisión de más del 95% de Gases de Efecto Invernadero.

Cuadro 2.9. Emisiones de GEI en CO₂ eq generadas por las subcategorías en los años 2005, 2007 y 2009 e identificación de fuentes clave de la categoría de Energía.

Sub categoría	2005				2007				2009			
	Gg CO ₂ eq				Gg CO ₂ eq				Gg CO ₂ eq			
	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	% §	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	% §	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	% §
Transporte*	2,233.32	106.71	5.80	81.20	2,382.62	113.24	6.29	81.77	2,488.87	122.34	6.54	84.17
Residencial	387.75	1.30	1.15	13.51	375.44	1.26	1.11	12.25	338.51	1.13	1.00	10.86
Comercial**	85.39	0.29	0.25	2.98	103.89	0.35	0.31	3.43	94.63	0.32	0.28	3.07
Industrial	54.90	0.04	0.16	1.90	74.30	0.05	0.22	2.44	55.08	0.04	0.16	1.78
Agrícola	11.93	0.02	0.04	0.41	3.40	0.01	0.01	0.11	3.53	0.01	0.00	0.11
Total	2,773.30	108.24	7.44	100.00	2,939.65	114.91	7.94	100.00	2,980.62	123.84	7.98	100.00
Total año	2,889.05				3,062.50				3,112.44			

*Incluye el transporte terrestre, aéreo y acuático. **En esta subcategoría se incluyen los edificios donde están instalados comercios y se ofrecen servicios. §Contribución porcentual de cada subcategoría para identificación de las fuentes clave.

Los sectores transporte, residencial y comercial, en conjunto, integran el 97.69% del total de las emisiones generadas por la categoría de Energía en el año base 2005; mientras que los sectores industrial y agrícola son el 2.31%. Un comportamiento similar se muestra para los años 2007 y 2009, siendo estas dos subcategorías las principales fuentes clave de emisión. El análisis de fuentes clave permite identificar aquellas subcategorías sobre las cuales deben tomarse medidas para disminuir sus emisiones.

2.3.2. Incremento en las emisiones de Gases de Efecto Invernadero por consumo de combustibles

El incremento en las emisiones provenientes del consumo de los combustibles puede observarse con mayor detalle en la figura 2.3, en la cual se muestra que las emisiones por el consumo de la gasolina es a la alza, con un aumento de 15.35% entre 2009 y el año base 2005; las emisiones que se originan por el consumo de gas LP han mostrado una ligera disminución de 9.32%, en tanto que las provenientes del diesel registraron un aumento de 1.86% en 2009. En el caso de la leña, ésta se utiliza específicamente en la subcategoría residencial y no se registraron cambios en sus emisiones. Las emisiones que se originan por el uso de la turbosina disminuyeron 13.69% entre el 2009 y el 2005.

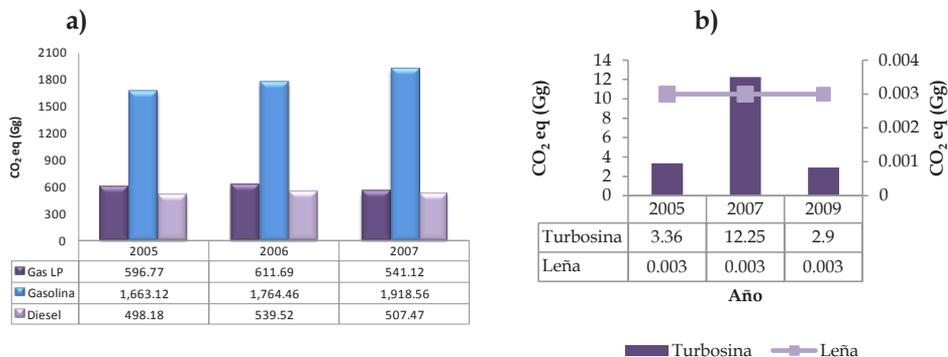


Figura 2.3. Emisiones de CO₂ eq de los diferentes combustibles utilizados en el estado de Morelos. a) Emisiones de gasolinas (Magna y Premium), gas LP y diésel; b) Emisiones de turbosina y leña. Obsérvese las diferencias en la escala en que se grafican la turbosina y la leña, ésta última se muestra en el eje secundario.

2.3.3. Emisiones de los Gases de Efecto Invernadero indirectos

Además del CO₂, el CH₄ y el N₂O, existen gases de efecto invernadero indirectos como CO, los NO_x y los COVDM. Estos gases indirectos intervienen en la formación de uno o más de los GEI, a partir de reacciones químicas, y son considerados como gases precursores del ozono (O₃) troposférico. En el cuadro 2.10 se muestran las emisiones de cada GEI indirecto. En todos los casos se observa un incremento a través del tiempo.

Cuadro 2.10. Emisiones de GEI indirectos en el estado de Morelos.

Sub categoría	2005 (Gg)			2007 (Gg)			2009 (Gg)		
	NOx	CO	COVDM	NOx	CO	COVDM	NOx	CO	COVDM
Transporte	19.24	200.99	37.70	20.47	213.37	40.04	21.53	230.89	43.31
Residencial	0.61	0.12	0.03	0.59	0.12	0.03	0.54	0.11	0.03
Industrial	0.17	0.01	0.00	0.24	0.01	0.01	0.18	0.01	0.00
Comercial	0.14	0.03	0.01	0.17	0.03	0.01	0.15	0.03	0.01
Agrícola	0.23	0.19	0.04	0.07	0.05	0.01	0.07	0.06	0.01
TOTAL	20.39	201.34	37.78	21.53	213.59	40.09	22.47	231.10	43.36

2.3.4. Estimación de emisiones de GEI por el consumo de energía eléctrica en el estado de Morelos

Las emisiones provenientes del consumo de energía eléctrica no se contemplan dentro de las emisiones de CO₂ eq estimadas con la metodología del PICC, ya que se contabilizan en el lugar donde se generan. Sin embargo, el sistema eléctrico nacional está interconectado en todo el territorio, con excepción de la península de Baja California, lo que significa que la electricidad que se genera en las diferentes plantas en el país, se transmite a través de una red compleja a todo el territorio. Por esta razón, puede hacerse la suposición de que cada kWh que se consume, es generado por un promedio de todas las plantas existentes, con lo cual, para los inventarios estatales de emisión de GEI, las emisiones de la producción de electricidad se contabilizan a partir del consumo (INE-Instituto de Ingeniería UNAM 2010).

En este apartado se proporcionan datos acerca del consumo de energía eléctrica en el estado de Morelos, iniciando por datos generales de consumo de electricidad y, posteriormente su descripción, por las subcategorías mostradas en el cuadro 2.1; al final se integra y se discute la situación para la categoría en general.

2.3.4.1. Datos de actividad

Para el caso del consumo de energía eléctrica, el volumen de ventas total para el estado de Morelos fue de 2,363,171 megawatts-hora en el año 2009, con un total de usuarios de 597,180, que se refiere al número de contratos celebrados para el suministro de energía eléctrica existentes al 31 de diciembre de 2009. En la figura 2.4 se muestra información acerca del consumo de energía eléctrica, además de los sectores en los que se utilizó.

Puede observarse que en el año 2005, el uso de la energía eléctrica predominaba en el sector doméstico; sin embargo, a partir del año 2006, el sector industrial y de servicios comenzó a consumir la mayor parte de electricidad y cada año ha ido en aumento. En general, se nota una clara tendencia al incremento en el consumo de energía eléctrica, aunque el sector de menor consumo sigue siendo la agricultura. La figura 2.5 muestra, en porcentajes, el consumo de energía por parte de los diferentes sectores para el año 2009.

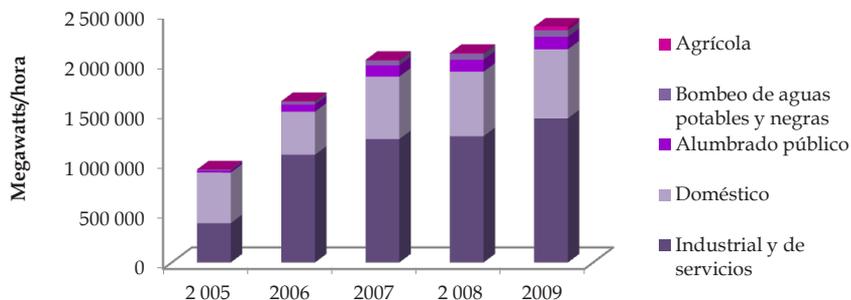


Figura 2.4. Volumen de ventas de electricidad en el estado de Morelos por tipo de servicio proporcionado (INEGI-Gobierno del Estado de Morelos, 2010).

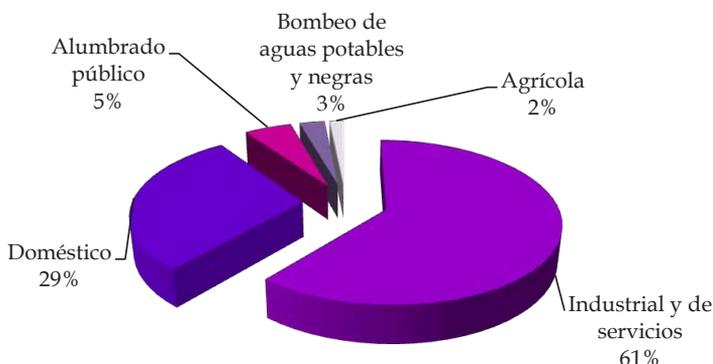


Figura 2.5. Tipo de servicio al que se destinó el uso de la energía eléctrica en el estado de Morelos en 2009. Fuente: INEGI-Gobierno del Estado de Morelos, 2010; con datos de la CFE, División Centro Sur. Subgerencia Comercial Divisional; Oficina de Facturación Divisional.

2.3.4.2. Estimación de emisiones GEI por consumo de electricidad

Para calcular la generación de GEI por consumo de energía se siguió la metodología sugerida por la Comisión Nacional por el Uso Eficiente de Energía y la Secretaría de Energía (SENER-CONUEE, 2009), aplicando la siguiente ecuación:

$$E_g^c = \text{Consumo de electricidad (MWh)} \times \text{Factor de Emisión Electricidad (ton CO}_2\text{eq/MWh)}$$

Donde:

E_g^c = Emisiones totales de gases de efecto invernadero.

Los factores de emisión se tomaron de aquellos publicados por el Programa GEI México, mismos que se muestran en el cuadro 2.11.

Cuadro 2.11. Factores de emisión de electricidad promedio (ton CO₂eq/MWh).

Año	Factor de emisión de electricidad promedio (ton CO ₂ eq/MWh)
2005	0.56
2006	0.53
2007	0.52
2008	0.47
2009	0.50

Fuente: Programa GEI México. <http://www.geimexico.org>.

En la figura 2.6 se reportan las emisiones de CO₂ eq generadas por el consumo de energía eléctrica en el estado de Morelos. Como se ha mencionado anteriormente, dichas emisiones fueron calculadas de forma independiente a la metodología del PICC (1996a) y por ello se reporta de manera separada al resto de los resultados. Se observa que las emisiones de CO₂ eq se incrementan a través del tiempo, lo que concuerda con los datos obtenidos del consumo de energía eléctrica.

2.3.5. Aporte de GEI de Morelos a la República Mexicana

Si se comparan las emisiones generadas en la categoría de Energía en Morelos en el año base 2005 con las emisiones generadas en la misma categoría pero del Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero-Cuarta Comunicación Nacional del mismo año, se observa que la contribución del estado de Morelos en la categoría de Energía es del 0.69%. Sin embargo, como en este reporte se calcularon las emisiones de GEI por consumo de energía eléctrica, la contribución a nivel nacional se incrementa al 0.79% (Cuadro 2.12).

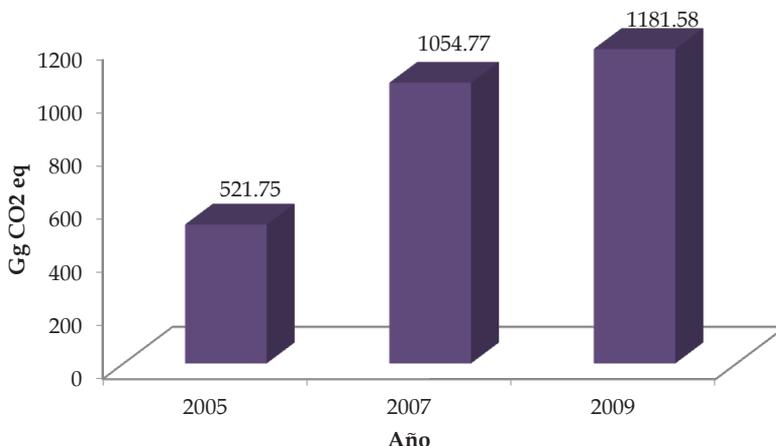


Figura 2.6. Emisiones de CO₂ eq provenientes del uso de energía eléctrica de todos los sectores.

Cuadro 2.12. Comparación de las emisiones de GEI entre el estado de Morelos y las Nacionales en la categoría de Energía por tipo de GEI en CO₂ eq para 2005. Se incluyen datos diferenciados, considerando las emisiones GEI por consumo de energía eléctrica.

Gas	Nacional* (Gg CO ₂ eq)	Morelos (Gg CO ₂ eq)	% estatal con respecto al nacional	Morelos (Gg CO ₂ eq), + emisiones por consumo de electricidad	% estatal con respecto al nacional
CO ₂	364,249.00	2,773.29	0.76	3,295.04	0.90
CH ₄	44,750.00	108.36	0.24	--	0.24
N ₂ O	9,973.00	7.43	0.07	--	0.07
TOTAL	418,972.00	2,889.08	0.69	3,295.04	0.79

*Elaborado con información del Inventario Nacional de Emisiones de GEI 1990-2006 informado en la Cuarta Comunicación Nacional ante la CMNUCC (INE-SEMARNAT, 2009).

2.4. Discusión

La constante demanda de combustibles en el estado de Morelos ha generado un incremento en las emisiones de CO₂ eq; estas emisiones provenientes del consumo de la gasolina, el principal combustible utilizado en el transporte, aumentaron en un 15.35% del año 2005 al 2009. Este aumento se relaciona con el incremento en el

número de vehículos en el estado, el cual se ha dado en el mismo período de tiempo.

Dentro del transporte aéreo, las emisiones provenientes de la utilización de la turbosina en la aviación presentaron un incremento importante en el 2007, esto debido a un aumento en las operaciones aéreas que se registraron en el estado; sin embargo, para el 2009, se registró una disminución del 76.34% en sus emisiones, como resultado de la extinción de algunas de las líneas aéreas que operaban en Morelos.

Las emisiones provenientes del uso de diesel, de manera general, se mantienen sin modificaciones importantes entre 2005 y 2009, registrando un ligero incremento del 1.86%. Por su parte, el consumo de gas LP registró un incremento en el 2007 y posteriormente una disminución en el 2009 donde el consumo fue similar al del 2005 (Figura 2.1). Es posible que la implementación de nuevas tecnologías para generar energía, como el uso de calentadores solares en el sector residencial y comercial, contribuya a tener un menor consumo de gas LP, como lo han reportado algunos sectores como el hotelero.

Se observa que las emisiones provenientes de la utilización de la leña en la subcategoría residencial se mantienen sin modificación, esto debido a que su consumo en el año 2007 se tomó como base para el resto de los años por falta de datos actualizados.

Las mayores emisiones de CO₂, CH₄ y N₂O provienen de la subcategoría del transporte, como se ha mencionado, por el uso de la gasolina, principalmente, además del diesel y el gas LP, los cuales contribuyen a la elevada cantidad de emisiones registradas por este rubro.

La contribución de las emisiones de GEI indirectos que se estimaron (NO_x, CO y COVDM) es importante en cuanto a que este tipo de gases pueden generar Gases de Efecto Invernadero de manera indirecta a través de reacciones químicas generadas en el ambiente y ser precursores en la formación del ozono. Nuevamente, la subcategoría del transporte es en la que se estima el mayor número de emisiones de GEI indirectos.

En Morelos se ha propuesto obtener energía y reducir las emisiones de GEI a través del aprovechamiento de los residuos agroindustriales y municipales, como son el bagazo de caña y los residuos sólidos urbanos. De acuerdo a Flores *et al.* (2008), el uso adecuado de estos residuos podría generar hasta el 28% de los requerimientos energéticos del estado reportados en el 2005.

En la figura 2.7 se muestran las contribuciones de los GEI provenientes de los diferentes sectores de la categoría Energía en el año base 2005 y los porcentajes se comparan incluyendo las emisiones de GEI por consumo de energía eléctrica y sin ella. La diferencia es significativa considerando que las fuentes clave de emisión se tomarán en cuenta, en primer lugar, para establecer medidas de mitigación de emisión de los GEI. Se observa que la segunda fuente en importancia es el consumo de energía eléctrica, por lo que, claramente, será necesario establecer medidas de ahorro de energía eléctrica. Esta observación no se hubiera podido establecer sin la inclusión del cálculo de emisiones de los GEI por consumo de electricidad.

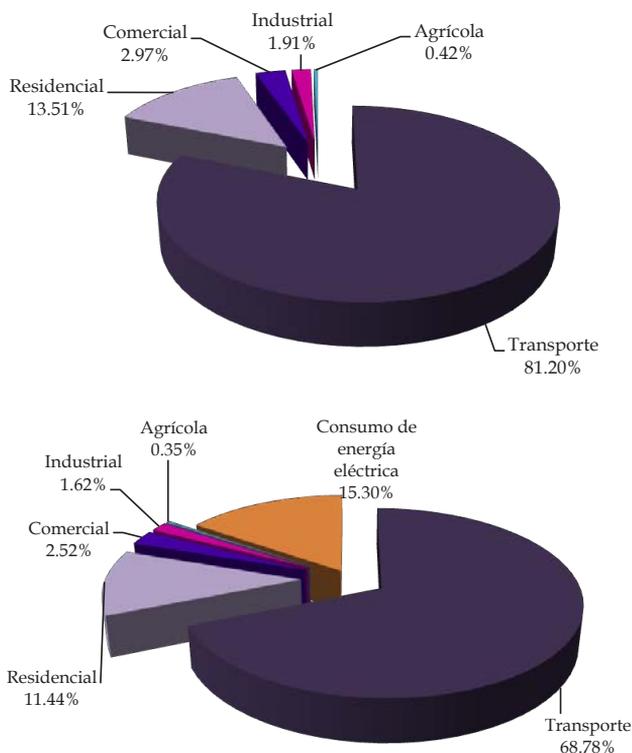


Figura 2.7. Principales fuentes de emisión de CO₂ eq en Morelos en 2005. La gráfica superior muestra las proporciones sin contemplar las emisiones por el consumo de energía eléctrica, y en la inferior ya se incluyen éstas.

Si se comparan las emisiones de CO₂ equivalentes de los GEI generados en Morelos en la subcategoría de Energía en el año 2005 con las emisiones Nacionales generadas en la misma subcategoría y el mismo año, se observa que la contribución estatal es de 0.69%. Sin embargo, si se incluye la contribución de emisiones por consumo de electricidad, la contribución se incrementa al 1.21%.

Estas cifras son coherentes con la superficie estatal (0.25%) con respecto a la total del país.

A partir de la estimación de los GEI que provienen de la subcategoría de Energía en el estado de Morelos, se podrán tomar las medidas conducentes para tratar de mitigar la cantidad de emisiones estatales generadas.

2.5. Conclusiones

- En el estado de Morelos, las mayores emisiones de CO₂ provienen de los sectores Transporte terrestre y Residencial. Las principales emisiones de CH₄ y NO₂ provienen del Transporte.
- En la subcategoría de Transporte se registró un incremento del 11.44% en sus emisiones de Gg de CO₂ eq en el año 2009, en comparación con las emisiones del año base.
- De los gases indirectos de GEI, las emisiones de CO₂ son las que mayor aportación presentan.
- Se observó un incremento del 7.73% en las emisiones totales de CO₂ eq entre el año 2005 y 2009.
- Las emisiones de CO₂ generadas en Morelos durante el año 2005 por la subcategoría de Energía representan el 0.79% de las emisiones del Inventario Nacional del mismo año.



PROCESOS INDUSTRIALES

Capítulo 3

CAPÍTULO 3 PROCESOS INDUSTRIALES Y SOLVENTES

3.1. Introducción

Las actividades industriales, como resultado de los procesos de transformación de materias prima, son responsables de emisiones de GEI. Además, algunos GEI se utilizan en productos tales como refrigeradores, espumas o latas de aerosol, en los cuales se usan los hidrofluorocarbonos (HFC) como alternativa a las sustancias que agotan la capa de ozono. Análogamente, el hexafluoruro de azufre se emplea en productos utilizados por la industria o por los consumidores finales. En la categoría de uso de solventes y otros productos se contabilizan principalmente las emisiones de compuestos orgánicos volátiles no metánicos (COVNM).

El estado de Morelos tiene un gran potencial para la extracción de minerales no metálicos en gran parte de su territorio, principalmente en las calizas de la Formación Morelos, en donde se han instalado 122 plantas para su transformación, como las cementeras, caleras y plantas de trituración para agregados pétreos y carbonato de calcio en varias partes del estado; además, se tienen registradas aproximadamente 88 plantas para la calcinación de yeso con capacidades muy variables, que producen más de 7,500 ton/día, lo que representa el 83.3 % de la capacidad instalada. Es importante mencionar que en las áreas adyacentes a Cuernavaca existen bancos de basalto, tezontle y otros materiales utilizados en la industria de la construcción. En los municipios de Tilzapotla y Axochiapan, se tiene el mayor número de plantas calcinadoras de yeso de capacidades muy variables; en Axochiapan la mayoría de ellas son de tipo rústico. La producción de estos minerales industriales representa un valor importante para el fortalecimiento económico de la entidad.

Por otro lado, el potencial de minerales metálicos se restringe al distrito minero de Huautla, en el municipio de Tlaquiltenango, que actualmente se encuentra inactivo pero que fue un importante productor de plata y plomo. También se registran manifestaciones de oro en las cercanías de Tilzapotla (SE, 2010).

En el estado de Morelos existe actividad industrial, especialmente por tres zonas industriales, una de ellas localizada en el municipio de Jiutepec, denominada la Ciudad Industrial del Valle de Cuernavaca; otra en el municipio de Villa de Ayala, denominada Parque Industrial Cuautla; y otra en el municipio de Emiliano Zapata, denominada Desarrollo Industrial Emiliano Zapata. Los establecimientos industriales corresponden al ramo químico, farmacéutico, metalmecánico, automotriz y textil, principalmente.

El objetivo fundamental de este capítulo es estimar para los años de 2005, 2007 y 2009, las emisiones de GEI provenientes de procesos industriales del estado de Morelos, mediante la aplicación de la metodología establecida por el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (PICC), versión 1996. Los GEI que se estimaron para esta categoría son el CO₂ de la producción de cemento y caliza, el SO₂ de la producción de cemento y los COVDM provenientes de la producción de vidrio plano. La información de Procesos Industriales y Solventes se organiza en cinco subcategorías (Cuadro 3.1).

Cuadro 3.1. Subcategorías incluidas en la categoría Procesos Industriales.

Subcategoría	Incluye
Productos minerales	Producción de cemento, óxido de calcio, consumo de piedra caliza y dolomita, carbonato de sodio, asfalto y vidrio.
Industria química	Producción de amonio, ácido nítrico, ácido adípico y carburos.
Producción de metales	Producción de hierro, acero, ferroaleaciones y aluminio.
Otros procesos industriales	Producción de pulpa y papel, alimentos y bebidas.
Producción y consumo de halocarbonos y hexafluoruro de azufre	Equipos de refrigeración, aire acondicionado, conmutadores eléctricos e interruptores automáticos.

3.2. Metodología

Para la realización del inventario de emisiones de GEI correspondiente a la categoría de Procesos Industriales y Solventes se utilizó el módulo 2 del software gratuito (PICC, 1996c) dispuesto por la CMNUCC, en donde a partir de la información recabada se realizarán las estimaciones correspondientes. Los ocho archivos que conforman este programa (CMNUCC_NAI_IS_132.zip) se descargaron directamente de la dirección electrónica http://unfccc.int/national_reports/nonannex_i_natcom/training_material/methodological_documents/items/349.php.²

De acuerdo a las Directrices del PICC (1996a), los datos reportados en los inventarios se clasifican de acuerdo al nivel de detalle con que se estiman. Actualmente, la información con la que se cuenta en el estado de Morelos permite

²Debido a las actualizaciones frecuentes de los programas y páginas electrónicas, los nombres de los archivos y sus ubicaciones pueden variar, en ese caso se recomienda hacer una búsqueda con los términos "UNFCCC software for GHG inventories" (Ordoñez et al., 2009).

utilizar la metodología en un Nivel 1 (Tier 1), y siguiendo la metodología del PICC se emplearon los siguientes pasos:

1. Se buscó la información requerida según las subcategorías que se muestran en el cuadro 3.1. Las fuentes de información se muestran en el cuadro 3.2.
2. Se procesó la información requerida y se llenaron las hojas de cálculo del Software.
3. Se determinó la incertidumbre de los resultados obtenidos.

Cuadro 3.2. Fuentes de información de los datos de actividad para cada subcategoría.

Dato obtenido	Institución de procedencia	Fuente de información
Producción de cemento	Empresa productora	Comunicación personal
Producción de caliza	INEGI	Versiones descargables de los anuarios estadísticos de Morelos. http://www.inegi.org.mx/sistemas/productos/default.aspx?c=18130&upc=702825169138&s=est&tg=8&f=2&pf=Prod&ef=00&cl=0&pg=0#inicio
	Secretaría de Economía	Panorama Minero del Estado de Morelos, 2010. http://www.sgm.gob.mx/pdfs/MORELOS.pdf
Producción de vidrio plano	CEAMA-SEMARNAT	Comunicación personal.

3.2.1. Subcategoría de Productos minerales

Se considera que en el estado de Morelos la mayor parte de la caliza producida es derivada del uso del mineral de carbonato de calcio, el cual tiene su origen en calizas marinas del cretácico inferior y cuya composición geológica ha sido determinante para el desarrollo de la industria minera no metálica que utiliza una gran variedad de las rocas carbonatadas disponibles en Morelos (Ávila, 2002). La dolomita es un mineral de carbonato doble de calcio y magnesio del que no se reportan datos de producción en la entidad.

En el estado de Morelos no se cuenta con información referente a la cantidad de carbonato de sodio y trona utilizados. Las superficies asfálticas de las carreteras están compuestas de material inerte compactado y ligante asfáltico, y en el proceso de fabricación del asfalto, y durante las operaciones de revestimiento de las

carreteras, ocurren emisiones de COVDM, que también se desprenden posteriormente de la superficie de la carretera. En La fabricación de otros productos minerales como hormigón de piedra pómez y la fabricación de vidrio pueden ocurrir emisiones de COVDM. Para Morelos no está disponible la información referente al uso de asfalto y piedra pómez.

3.2.1.1. Datos de actividad

Se dispone de la información de producción de cemento, caliza y vidrio plano – para este último sólo se reporta la producción para el año 2005 –. La información sobre la producción de cemento se obtuvo directamente por comunicación personal con las empresas productoras. La producción de caliza, para los tres años evaluados, se obtuvo de los Anuarios Estadísticos del Estado de Morelos. La producción de vidrio se obtuvo por comunicación personal con CEAMA-SEMARNAT, y la producción de papel, para los años 2005, 2007 y 2009, se obtuvo directamente de una empresa papelera (Cuadro 3.3).

Cuadro 3.3. Fabricación de diferentes productos de minería no metálica e industrial en el estado de Morelos para los años 2005, 2007 y 2009.

Producción	2005	2007	2009
	Ton		
Cemento	2,271,056.00	2,525,639.00	2,492,371.00
Caliza	1,943,752.63	1,976,192.00	1,029,300.00
Vidrio plano	179,626.00	179,626.00	179,626.00
Papel	70,266.407	80,096.204	78,555.717
	4,464,701.037	4,761,553.204	3,779,852.717

Se observa que la producción de cemento aumentó 9.75% en el 2009, en comparación con el año base; en cuanto a la caliza, su producción disminuyó un 47.05% en los mismos años; la producción de papel aumentó un 11.80%, en tanto que la producción de vidrio se mantuvo constante.

3.2.1.2. Factores de emisión

Se utilizaron los valores calculados y propuestos por el PICC en sus Guías y Libro de trabajo (1996). En el cuadro 3.4 se muestran los factores de emisión utilizados para el cálculo de las emisiones de GEI generados en las subcategorías previamente mencionadas.

Cuadro 3.4. Factores de emisión por defecto utilizados para la estimación de CO₂, CO, NO_x, SO₂ y COVDM.

Producto	Factor de Emisión			
	Cemento (Ton)	Caliza (Ton)	Vidrio plano (kg/de tonelada de producto)	Papel (kg/de tonelada de pulpa seca)
CO ₂	0.4985	0.79	-	-
CO	-	-	-	5.6
NO _x	-	-	-	1.5
SO ₂	-	-	-	7.0
COVDM	-	-	4.5	3.7

Fuente: Libro de trabajo (1996d), Sección "Procesos Industriales". Tablas 2-23, (cemento y papel); Sección 2.3, paso 1. Tabla 1-2 (caliza); Sección 2.7.3.1, paso 4 (vidrio).

3.2.2. Subcategoría de la Industria química

En esta subcategoría se deberían estimar las emisiones de GEI provenientes de la producción de amonio, ácido nítrico, ácido adípico y carburos; sin embargo, en el estado de Morelos no se cuenta con información sobre los diferentes procesos que se utilizan para la producción de ácido nítrico, y no se produce ácido adípico —aunque sí hay importación— ni amoniaco (INE-SEMARNAT, 2006; INE-II, 2008). Respecto a la producción de carburos en el estado no hay información disponible.

3.2.3. Subcategoría de Producción de metales

No se reportan datos de producción de hierro ni de acero para el estado de Morelos (INE- SEMARNAT, 2006; INE-II, 2008, Torres, 2007); tampoco existe, particularmente en este estado, producción de aluminio (Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero, 1990-2006).

3.2.4. Producción y consumo de halocarbono y hexafluoruro de azufre

De acuerdo a la información reportada en el Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (1990-2000), en México no se reporta producción de halocarbonos y hexafluoruro de azufre. Sin embargo, en el Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (1990-2006) sí se reportan emisiones procedentes de la producción y el consumo de estos materiales. Para el estado de Morelos no se reportan valores de halocarbono y hexafluoruro de azufre.

3.2.5. Otros procesos industriales

Para esta subcategoría no hay información disponible para el estado de Morelos respecto a la producción de alimentos y bebidas. Cabe señalar que se solicitó la información a las industrias, desafortunadamente no se obtuvo respuesta.

3.3. Resultados

3.3.1. Emisiones de diferentes GEI industriales

Las emisiones de Gases de Efecto Invernadero en la categoría de Procesos Industriales y Solventes para los años 2005, 2007 y 2009, se muestran en el cuadro 3.5.

Cuadro 3.5. Emisiones de GEI en la categoría de Procesos Industriales y Solventes en el estado de Morelos en los años 2005, 2007 y 2009.

Subcategoría	Emisiones 2005 (Gg)				
	CO ₂	CO	NO _x	SO ₂	COVDM
Cemento	1,132.12	-		0.68	-
Caliza	1,535.56	-		-	-
Vidrio	-	-		-	0.81
Papel	-	0.39	0.11	0.49	0.26
Total	2,667.68	0.39	0.11	1.17	1.07
Subcategoría	Emisiones 2007 (Gg)				
	CO ₂	CO	NO _x	SO ₂	COVDM
Cemento	1,259.03	-		0.76	-
Caliza	1,561.19	-		-	-
Vidrio	-	-		-	0.81
Papel	-	0.45	0.12	0.56	0.3
Total	2,820.22	0.45	0.12	1.32	1.11
Subcategoría	Emisiones 2009 (Gg)				
	CO ₂	CO	NO _x	SO ₂	COVDM
Cemento	1,242.45	-		0.75	-
Caliza	813.15	-		-	-
Vidrio	-	-		-	0.81
Papel	-	0.44	0.12	0.55	0.29
Total	2,055.60	0.44	0.12	1.3	1.1

*Fuente: Elaboración propia con información obtenida de la base de datos de CMNUCC.

Las emisiones de CO₂ provenientes de la producción de cemento y caliza en el año 2009 disminuyeron un 22.94% con respecto al año base, esto como resultado de una menor producción de caliza en el estado. Las emisiones de CO y NO_x aumentaron un 12.82% y 9.09% respectivamente, en el año 2009, con respecto al año base. Por otro lado, en las emisiones de SO₂, se observa un aumento del 11.11% en el 2009,

ocasionado por el incremento en la producción de cemento y papel. Finalmente, en las emisiones de COVDM provenientes de la producción de vidrio y papel en 2009 se registró un incremento del 21.49%. Cabe señalar que para el caso del vidrio se utilizó el mismo valor de producción en el período evaluado.

3.3.2. Resultados de la generación de CO₂ eq

Para las emisiones de CO₂ eq de esta categoría, únicamente se consideran las emisiones que provienen de la producción de cemento y caliza. Debido a que no se cuenta con los potenciales de calentamiento global para las emisiones de SO₂ y COVDM. En el cuadro 3.6, se muestran las emisiones de CO₂ eq en las diferentes subcategorías. Las emisiones de CO₂ eq disminuyeron un 22.94% en el 2009, en comparación con el año base, 2005. Este comportamiento es causado por la disminución en la producción de caliza, como se ha mencionado anteriormente.

Cuadro 3.6. Emisiones de CO₂ eq en la categoría de Procesos Industriales y Solventes en el estado de Morelos en los años 2005, 2007 y 2009.

Subcategoría	Emisiones de CO ₂ eq (Gg)		
	2005	2007	2009
Cemento	1,132.12	1,259.03	1,242.45
Caliza	1,535.56	1,561.19	813.15
Total	2,667.68	2,820.22	2,055.60

Fuente: Elaboración propia con información obtenida de la base de datos de CMNUCC.

3.4. Análisis de emisiones de GEI de otros giros industriales en función de datos publicados por el RETC

Debido a la falta de información en los datos de actividad de las diferentes industrias asentadas en el estado de Morelos, no se pudieron calcular las emisiones de GEI, por lo que se consultó el Registro de Emisión y Transferencia de Contaminantes (RETC) de la SEMARNAT (<http://app1.semarnat.gob.mx/retc/retc/index.php>), con lo cual se pudo complementar la información para estimar las emisiones de GEI de la categoría de Procesos Industriales del estado de Morelos. Cabe señalar que este análisis, publicado por el RETC, sólo es informativo y los valores no se calcularon con la metodología del PICC para el estado de Morelos.

En este registro se consultaron los valores de emisión de CO₂ correspondientes a los diferentes sectores industriales, tales como: Vidrio, Química, Celulosa y Papel, Automotriz, Metalúrgica (incluye la siderúrgica), Petróleo y Petroquímica. Para tal

efecto, y de acuerdo con las Directrices del PICC (1996a), se estimó la emisión de CO₂ por su importancia como GEI.

De acuerdo con estos datos y bajo el criterio establecido en el RETC, la figura 3.1 muestra las emisiones de CO₂ que provienen de los diferentes giros industriales. En esta figura se observa que la principal fuente de emisión de CO₂ es el giro industrial del Vidrio seguido por Química, Celulosa y Papel, Automotriz, Petróleo y Petroquímica y en menor aportación se encuentra el giro de Metalúrgica. Nótese que en la figura se integra la generación de CO₂ por la fabricación del vidrio, ya que así es considerado en el RETC; sin embargo, la metodología del PICC establece que durante la producción de vidrio pueden ocurrir emisiones de CO₂ y no de CO₂.

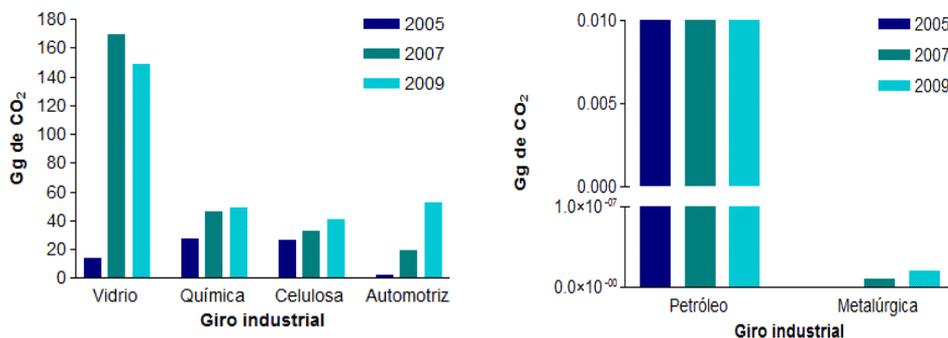


Figura 3.1. Contribución de CO₂ por los diferentes giros industriales establecidos en el estado de Morelos. Los datos fueron tomados directamente del RETC. (<http://app1.semarnat.gob.mx/retc/retc/index.php>).

De acuerdo a los resultados, la emisión de este gas para los años 2005, 2007 y 2009 fue de 69.49, 266.74 y 290.82 Gg de CO₂ eq respectivamente, lo que muestra un aumento del 283.85% y 350.18% para los años 2007 y 2009, respectivamente, en comparación con el año base 2005 (Figura 3.2). Lo anterior, se debe a la generación de CO₂ por la producción de vidrio, principalmente.

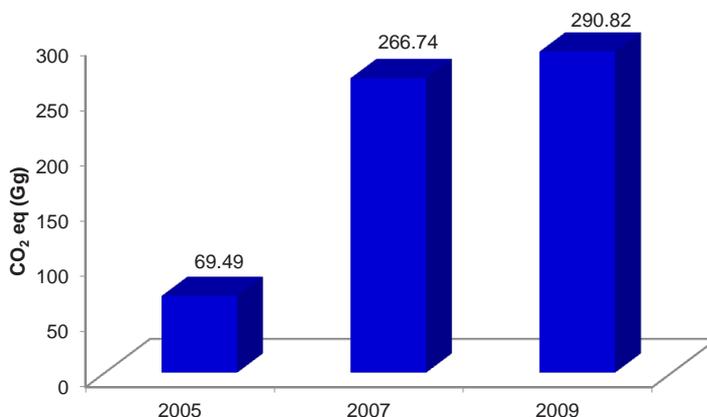


Figura 3.2. Emisión de CO₂ para los años 2005, 2007 y 2009. Los valores se obtuvieron de la base de datos del RETC.

De acuerdo con los datos publicados por el RETC, el giro industrial del vidrio y mosaico artesanal presentó una emisión total del 52.90%. La industria química ha reportado emisiones mayores de CO₂ en el estado de Morelos de variados giros, tales como farmacéuticos y medicamentos, producción de adhesivos y selladores, fabricación de artículos y productos de hule, que aportan al estado el 19.37% de emisión de CO₂. Por su parte, el 15.92% es generado por la industria de la celulosa y el papel. La industria automotriz, dedicada a la producción de llantas y cámaras nuevas y el ensamble de automóviles y camiones, emite en total el 11.80%. El menor aporte corresponde al 0.000000004% y 0.0044 % resultantes de los sectores de metalurgia y petroquímica respectivamente.

3.5. Análisis de la generación total de GEI³

Hasta ahora en este capítulo, la generación de GEI para esta categoría se ha presentado de manera separada, pero en este apartado se discutirá la suma de emisiones por año, lo que permitirá tener un acercamiento más real al total de los gases que se emiten, con lo cual será posible establecer medidas de mitigación.

La figura 3.3 muestra la producción total de CO₂ eq, que resulta de sumar los datos calculados por los autores y los consultados en el RETC. Puede observarse que para el año 2007, las emisiones se incrementaron en un 11.33%; sin embargo, para el 2009 se tuvo una disminución del 14.25% con respecto al año base. Cabe recordar que en el año 2009 se registró una caída en la producción de caliza, debida, principalmente, al cierre de plantas productoras, además de que el proceso de

³ Los datos fueron calculados en este trabajo y tomados del RETC.

urbanización ha alcanzado algunas zonas productoras de calizas, y esto repercute directamente en la emisión de GEI para esta categoría.

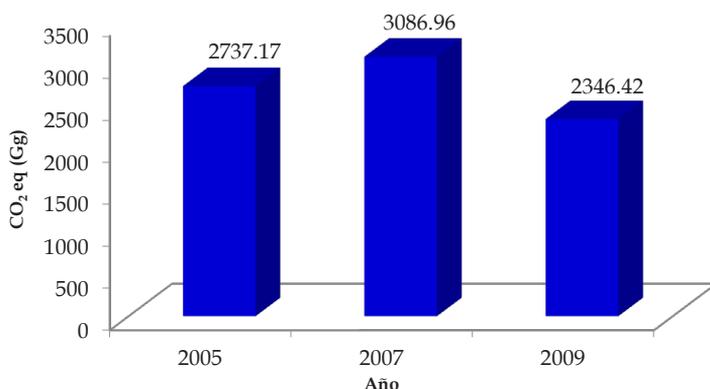


Figura 3.3. Generación total de emisión de GEI a través de cálculos de acuerdo con la metodología del IPCC y de los datos tomados del RETC.

Con base en el total de emisiones de CO₂ eq que se observa en la figura 3.3, ha sido posible establecer la contribución de cada sector de esta categoría; la figura 3.4 muestra los resultados de dichas contribuciones. Las principales emisiones de CO₂ eq en el año base 2005 fueron hechas por la producción de cemento y caliza, con el 42% y 56% respectivamente. Esta tendencia se mantuvo, en general, en los tres años. En la figura 3.4 se observa que la aportación total de otros giros industriales es de apenas el 2%.

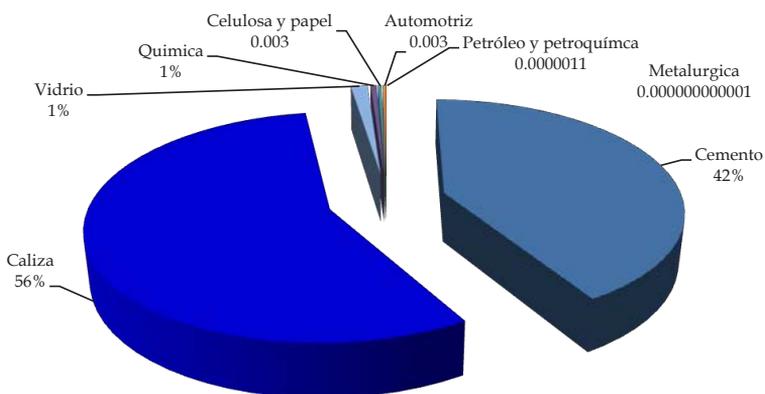


Figura 3.4. Aportación porcentual de CO₂ eq de los diferentes giros industriales en el estado de Morelos. Cifras calculadas a través de la metodología del PICC sumados a los datos obtenidos del RETC para el año base.

De acuerdo a la información disponible, las únicas subcategorías que podrían ser consideradas como fuentes clave, son la producción de minerales no metálicos (cemento y de caliza).

3.6. Aportación de emisiones GEI de la categoría Procesos Industriales y Solventes, a la generación nacional

El Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero-Cuarta Comunicación Nacional, reporta que en el país, en la misma categoría y en el año 2005, se generó un total de 47,173.00 Gg de CO₂ eq, y que en Morelos se alcanzó la cifra de 2,737.17 Gg de CO₂ eq, lo que significa que este estado contribuyó, en esta categoría, con el 5.80% de las emisiones en el país.

3.7. Discusión

Como se ha visto en este capítulo, la cuantificación de GEI de la categoría de Procesos Industriales y Solventes con la metodología del PICC, sólo fue posible realizarla para la minería no metálica, ya que los datos para la industria química, farmacéutica, automotriz, de alimentos y bebidas, metalmecánica, entre otras, no estuvieron disponibles para ser utilizados en el cálculo de los GEI. Sin embargo, se encontraron datos disponibles en la base del RETC, en donde se reportan las emisiones de CO₂ para diferentes giros industriales establecidos en el estado de Morelos, los cuales fueron utilizados para representar la totalidad de los GEI que se emiten en esta categoría. También fue posible cuantificar otros gases como CO, SO₂ y COVDM.

A partir de la estimación de los GEI de esta categoría en el estado de Morelos, se propondrán medidas para mitigar la cantidad de emisiones estatales generadas, además de identificar los procesos industriales de mayor contribución al inventario y, simultáneamente, localizar geográficamente sus fuentes y su particular impacto ambiental. Se pretende, con base en esta información, sustentar los criterios para mejorar los aspectos de mitigación.

3.8. Conclusiones

- En Morelos, la industria de la minería no metálica genera el mayor porcentaje de las emisiones de GEI en esta categoría.
- La producción de cemento y de caliza emiten, en conjunto, aproximadamente el 98% de GEI en la categoría de Procesos Industriales, principalmente CO₂.
- Las emisiones de la categoría de Procesos Industriales y Solventes, producidas en el estado de Morelos, contribuyen con el 5.80% de las emisiones de GEI a nivel nacional en la misma categoría.

- Finalmente, de acuerdo con la estimación de emisiones de GEI derivadas de los procesos industriales, calculadas para los años 2005, 2007 y 2009 en este inventario, se observó una disminución del 14.25% en el año 2009, con respecto a 2005, en las unidades de CO₂ eq, disminución que está ampliamente relacionada con el declive de la producción estatal en la industria calera.



AGRICULTURA

Capítulo 4

CAPÍTULO 4 AGRICULTURA

4.1. Introducción

En este apartado se estimaron las emisiones de GEI provenientes de la categoría Agricultura del estado de Morelos. Se reportan las emisiones de CH₄, N₂O, CO y NO_x producidas en el estado de Morelos durante los años 2005, 2007 y 2009. En la categoría de Agricultura no se generan emisiones de CO₂, pero las emisiones totales se calcularon en términos de CO₂ eq, utilizando los potenciales de calentamiento establecidos por el PICC. Se analizaron las principales actividades relacionadas con la agricultura en la entidad, entre las que se encuentran cuatro subcategorías (Cuadro 4.1).

Cuadro 4.1. Subcategorías incluidas en Agricultura.

Subcategoría	Incluye
Fermentación entérica y manejo de estiércol	Fermentación entérica y manejo de estiércol del ganado doméstico.
Cultivos	Cultivo de arroz.
Quema <i>in situ</i> de residuos agrícolas	Quema de cultivos de caña de azúcar.
Suelos agrícolas	Cultivos fijadores y no fijadores de nitrógeno.

4.2. Metodología

Para la realización del inventario de GEI, correspondiente a la categoría de Agricultura, se utilizó el módulo 4 del software gratuito (PICC, 1996c) dispuesto por la CMNUCC, en donde, a partir de la información recabada, se realizaron las estimaciones correspondientes. Los ocho archivos que conforman este programa (CMNUCC_NAI_IS_132.zip) se puede descargar directamente de la dirección electrónica http://unfccc.int/national_reports/nonannex_i_natcom/training_material/methodological_documents/items/349.php.⁴

De acuerdo a las Directrices del PICC del Manual de referencia, Volumen 3 (1996b), los datos reportados en los inventarios se clasifican de acuerdo al nivel de detalle

⁴ Debido a las actualizaciones frecuentes de los programas y páginas electrónicas, los nombres de los archivos y sus ubicaciones pueden variar, en ese caso se recomienda hacer una búsqueda con los términos "UNFCCC software for GHG inventories". Tomado del Manual de referencia rápida para el desarrollo de inventarios de emisiones de gases de efecto invernadero para las diferentes categorías en México.

con que se estiman. Actualmente, la información con la que se cuenta en el estado de Morelos permite utilizar la metodología en un Nivel 1 (Tier 1).

4.2.1. Fermentación entérica y manejo de estiércol

Las actividades ganaderas contribuyen a la emisión de CH_4 y N_2O , esencialmente a través de dos procesos: la fermentación entérica, principalmente en rumiantes (bovinos, ovinos y caprinos), y el tratamiento anaeróbico de las excretas animales o manejo de estiércol.

El metano es producto de la fermentación bacteriana efectuada durante el proceso digestivo del ganado. La cantidad de metano exhalado o eructado está relacionado con el tipo, la edad y el peso de cada animal, así como la cantidad y calidad de alimento consumido. El metano procedente del manejo de estiércol obedece a la descomposición en condiciones anaeróbicas, las cuales se presentan, por lo general, cuando se crían grandes hatos de animales en sistemas de producción confinados, como en los corrales de engorda (Gobierno del Estado de México, 2009). Adicionalmente, el pH, la temperatura y la humedad del estiércol, así como el tipo de alimentación del ganado, las razas, el clima del lugar, y los sistemas de manejo de excretas afectan la producción de metano durante la fermentación. Cabe mencionar que aunque no se disponga de datos, la deposición de estiércol y orina de los animales que se mantienen en pastoreo sobre los campos naturales y los pastizales es una de las vías directas de incorporación de nitrógeno a los suelos (Berra y Finster, 2002) y en esta práctica se llevan a cabo emisiones significativas de óxido nitroso.

4.2.1.1. Datos de actividad

Para estimar las emisiones provenientes de la fermentación entérica y del manejo de ganado, se utilizó la información del número de cabezas registradas en los años 2005, 2007 y 2009 en Morelos en el Sistema de Información Agropecuaria y de Consulta (SIACON), un programa informático descargable, dependiente del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), órgano desconcentrado de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). En el cuadro 4.2 se muestran los datos obtenidos.

La producción en orden de importancia por su volumen es: aves de corral, vacuno para carne, ganado porcino, equinos, ganado caprino, ovino y vacuno para leche. En este trabajo se incluyen especies exóticas como es el caso de búfalos y camellos.

Cuadro 4.2. Número de animales en el estado de Morelos.

Tipo de animal	Cabezas		
	2005	2007	2009
Vacuno leche	559	547	567
Vacuno carne	125,119	121,129	131,992
Búfalo	8	9	10
Ovino	31,429	33,720	42,157
Caprino	32,883	29,856	40,872
Camellos	3	4	5
Equinos (caballos, asnos y mulas)	40,224	31,373	31,372
Porcino	88,683	90,105	85,099
Aves de corral (pavos, gansos, patos, gallinas y codornices)	5,298,247	5,756,654	6,353,120
TOTAL	5,617,155	6,063,397	6,685,194

Fuente: Elaborado con información obtenida de la base de datos SIACON-SAGARPA (2011).

4.2.1.2. Factores de emisión

Se emplearon los factores de emisión reportados en el Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero 2005, categoría Agricultura (Ordoñez y Hernández, 2005) y la tabla 4-4 del Libro de trabajo, sección Agricultura (PICC, 1996d) para estimar las emisiones que se generan en la fermentación entérica y del manejo de estiércol. En el cuadro 4.3 se muestran los factores de emisión utilizados para el cálculo de emisiones.

Se utilizaron las ecuaciones descritas en el Libro de trabajo, sección Agricultura, páginas 10 y 11 (PICC, 1996d) para calcular las emisiones de CH₄ proveniente de la fermentación entérica, además de las emisiones de CH₄ y N₂O que se originan por la fermentación entérica y el manejo de estiércol.

Cuadro 4.3. Factores de emisión de las diferentes fuentes de emisión.

Fuente de emisión	Tipo	Factor de emisión (kg/cabeza/año)
Fermentación entérica por tipo de ganado	Vacuno leche	104.35*
	Vacuno carne	47.40*
	Búfalos	55§
	Ovino	5*
	Caprino	5*
	Camellos	46§
	Equinos (caballos, asnos y mulas)	14* (promedio de los factores de emisión del ganado equino y mulas-asnos)
	Porcino	1*
	Aves de corral (pavos, gansos, patos, gallinas, codornices)	0*
	Manejo de estiércol por tipo de ganado	Vacuno leche
Vacuno carne		1*
Búfalos		2§
Ovino		0.13*
Camellos		2.56§
Caprino		0.14*
Equinos (caballos, asnos y mulas)		1.39* (promedio de los factores de emisión del ganado equino y mulas-asnos)
Porcino		0.69*
Aves de corral (pavos, gansos, patos, gallinas, codornices)		0.01*

Fuente: *Ordoñez y Hernández (2005), y §Tabla 4-4 del Libro de trabajo-PICC (1996d), sección Agricultura.

La ecuación utilizada para el cálculo de las emisiones de metano por fermentación entérica fue la siguiente:

$$\text{Emisiones}_{\text{metano}} = \sum_T [\text{FE}_T * (\text{N}_T / 10^6)]$$

Donde:

Emisiones_{metano} = Emisiones de metano por fermentación entérica, en Gg de CH₄ al año.

FE_T = Factor de emisión, definido por la población ganadera T, en kg CH₄/cabeza-año.

N_T = Número de cabezas de la especie/tipo de ganado T.

T = Especie/tipo de ganado.

La ecuación utilizada para el cálculo de emisiones de CH₄ por el manejo de estiércol fue la siguiente:

$$\text{Emisiones}_{\text{metano}} = \sum_T (FE_T * N_T) / 10^6$$

Donde:

Emisiones_{metano} = Emisiones de metano por manejo de excretas en Gg de CH₄ al año.

FE_T = Factor de emisión, definido por la población ganadera T, en kg CH₄/cabeza-año.

N_T = Número de cabezas de la especie/tipo de ganado T.

T = Especie/tipo de ganado.

La ecuación utilizada para el cálculo de emisiones de N₂O por el manejo de estiércol fue:

$$N_2O_i = [\sum_s [\sum_T (N_T * Nex_T * MS_{T,S}) * (\text{Fracc}_{\text{GasMS}} / 100)_{T,S}]] * FE * 44/28$$

Donde:

N_2O_i = Emisiones indirectas de N₂O perdidas por la volatilización del nitrógeno por el manejo de excretas en el estado, en kg N₂O al año.

N_T = Número de cabezas de especie ganadera/categoría T en el estado.

Nex_T = Promedio anual de N de excreta por cabeza T en la entidad, en kg N_{animal} al año.

$MS_{T,S}$ = Fracción del nitrógeno total anual de la excreta, por cada especie ganadera/categoría T, manejado en el sistema S en el estado, adimensionales.

FE = Factor de emisión para las emisiones de N₂O por el depósito atmosférico de nitrógeno sobre sólidos y superficie de agua, en kg N₂O-N por los kg de NH₃-N+NO_x-N volatilizado, los valores por defecto son 0.01 kg N₂O-N por los kg de NH₃-N+NO_x-N volatilizado.

$\text{Fracc}_{\text{GasMS}}$ = Porcentaje de nitrógeno por el manejo de excretas por categoría de ganado T que volatilice como NH₃ y NO_x en el sistema de manejo S, en %.

S = Sistema de manejo de excretas.

T = Especie ganadera/categoría.

44/28 = Conversión de emisiones de N₂O-N a emisiones de N₂O.

La elección del método a seguir está determinada por el grado de detalle de los datos de actividad disponibles.

4.2.2. Cultivos

En el caso de las actividades agrícolas, la producción de arroz (*Oriza sativa* L) en el estado de Morelos se realiza bajo sistemas anegados, lo que produce emisiones de CH₄ durante el tiempo en que se mantiene el campo inundado. La descomposición anaeróbica de la materia orgánica, llevada a cabo por microorganismos del suelo, libera CH₄ a la atmósfera por tres vías principales: por burbujeo del agua de inundación, por difusión desde la superficie del agua de riego y por difusión a través de los tejidos de las plantas de arroz durante la etapa de crecimiento. Esta última vía es la más importante, en virtud de que produce el 90% del CH₄ de los arrozales. La cantidad de metano producida en campos de arroz es afectada por diversos factores como la temperatura y el más importante es el potencial redox (PICC, 1996d).

4.2.2.1. Datos de actividad

La información de la superficie cultivada de arroz en los años 2005, 2007 y 2009 en Morelos se obtuvo de la base de datos del Sistema de Información Agropecuaria y de Consulta (SIACON), programa informático descargable, dependiente del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), órgano desconcentrado de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) (Cuadro 4.4).

Cuadro 4.4. Superficie cultivada de arroz en en estado de Morelos.

Superficie de arroz cultivada (ha)	2005	2007	2009
	1,471	1,031	1,419

Fuente: Elaborado con información obtenida de la base de datos SIACON-SAGARPA (2011).

4.2.2.2. Factores de emisión

Se utilizaron los valores reportados en el Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero 2005, categoría Agricultura (Ordoñez y Hernández, 2005) (Cuadro 4.5).

Cuadro 4.5. Factores de emisión utilizados para el cálculo de las emisiones de metano provenientes del cultivo de arroz.

Dato*	Valor
Factor de escalamiento para las emisiones de CH ₄	1
Factor de corrección para el ajuste orgánico	1
Factor de emisión integrado para el cultivo de arroz anegado	20 g/m ²

*Fuente: Ordoñez y Hernández, 2005.

4.2.3. Quema *in situ* de residuos agrícolas

Los sistemas agrícolas, en todo el mundo, producen grandes cantidades de material vegetal, y la quema agrícola a cielo abierto es una práctica agrícola tradicional. Entre los principales residuos producidos en los campos de cultivo están los que resultan de la cosecha de granos o leguminosas como arroz, maíz, trigo y frijol. Para el caso de los huertos están las ramas, tocones (troncos con raíz) y la hierba que circunda a los árboles frutales (Quintero y Moncada, 2008).

En este contexto es de destacar el cultivo de la caña de azúcar. Las variedades comerciales de caña de azúcar son híbridos interespecíficos, principalmente de *Saccharum officinarum* L., *Saccharum spontaneum* L. y *Saccharum robustum* (Gutiérrez-Miceli *et al.*, 2002). El cultivo de esta gramínea es muy importante debido al valor económico de sus productos y a la superficie cultivada —en el estado de Morelos es el cultivo perenne con más superficie— (INEGI-Gobierno del Estado de Morelos, 2010). La cosecha se efectúa en forma manual, pero previamente se realiza la quema del cultivo, con el propósito de facilitar el corte de caña. Los gases emitidos por la quema en campo de los residuos agrícolas son CH₄, N₂O y los gases de efecto invernadero indirectos CO y NO_x.

4.2.3.1. Datos de actividad

La información sobre la producción de caña en los años 2005, 2007 y 2009 en Morelos se obtuvo de la base de datos del Sistema de Información Agropecuaria y de Consulta (SIACON), programa informático descargable, dependiente del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), órgano desconcentrado de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). La figura 4.1 muestra la producción de caña de azúcar en los años 2005, 2007 y 2009 en el estado de Morelos.

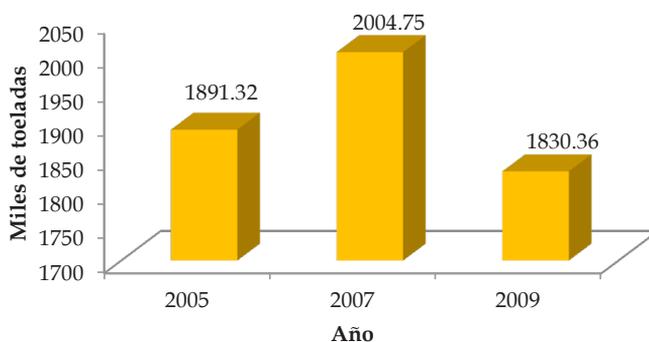


Figura 4.1. Producción de caña de azúcar en el estado de Morelos. **Fuente:** base de datos SIACON-SAGARPA (2011).

4.2.3.2. Factores de emisión

Se utilizaron los valores reportados en el documento Obtención de Factores de Emisión nacionales en el Sector Agrícola, para disminuir la incertidumbre en el Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (Ordoñez y Hernández, 2006) (Cuadro 4.6).

Cuadro 4.6. Factores de emisión utilizados para el cálculo de GEI provenientes de la quema de residuos agrícolas (caña de azúcar).

Dato	valor
Relación residuos-cultivo*	0.15
Fracción de materia seca*	0.78
Fracción de carbono del residuo*	0.22
Fracción quemada en campo§	1
Fracción oxidada§	0.9
Fracción nitrógeno/carbonos§	0.02

Fuente: *Tomado de Ordoñez y Hernández, 2006; § Tomado de Ordoñez y Hernández, 2005.

Se utilizó la ecuación descrita en el Libro de trabajo, sector Agricultura (PICC, 1996c) para estimar las emisiones provenientes de la quema de residuos agrícolas:

$$\text{Emisiones}_Q = (A * M * C * FE) / 1000$$

Donde:

Emisiones_Q = Cantidad de emisión de GEI generada por la quema, en toneladas, de GEI.

A = Área quemada en ha.

M = Masa de combustible disponible para combustión, en ton/ha. Cuando se utiliza Tier I este valor se asume como 0.

C = Factor de combustión, adicional. Valores por defecto.

FE = Factor de emisión g/kg de materia seca quemada.

4.2.4. Suelos agrícolas

En cuanto a los suelos agrícolas, los procesos microbianos de nitrificación y desnitrificación producen óxido nitroso (N₂O) en forma natural. El proceso de respiración microbiana del suelo, que ocurre en condiciones de anaerobiosis, produce N₂O (Martino, 2001). Este proceso de desnitrificación no sólo representa una pérdida económica significativa en los rendimientos agrícolas, sino que se considera una desventaja en ambientes pobres en nitrógeno y también determina un daño ambiental por la generación de uno de los principales gases de efecto invernadero.

4.2.4.1. Datos de actividad

La información sobre la producción de los diferentes cultivos agrícolas fue consultada del Sistema de Información Agropecuaria y de Consulta (SIACON), programa informático dependiente del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), órgano desconcentrado de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). En el Anexo I se muestran los cultivos en el estado clasificados en cultivos fijadores y no fijadores de nitrógeno. El valor de F_{BN} (cultivos fijadores de nitrógeno) se estimó de acuerdo al Libro de trabajo, sector Agricultura (PICC, 1996d); se utilizó el valor por defecto de 0.03 kg N/kg de biomasa seca.

4.2.4.2. Factores de emisión

Se utilizaron los factores de emisión reportados en el Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero 2005, categoría Agricultura (Ordoñez y Hernández, 2005) (Cuadro 4.7).

4.3. Resultados

4.3.1. Actividad ganadera

Las emisiones de metano procedentes del ganado doméstico se muestran en el cuadro 4.8 y corresponden a los años evaluados. Cabe señalar que los valores son la suma de fermentación entérica y de manejo de estiércol.

Cuadro 4.7. Valores utilizados para el cálculo de las emisiones provenientes de suelos agrícolas.

Dato*	valor
Fracción de nitrógeno en cultivos no fijadores	0.015 (kg N/kg biomasa seca)
Fracción de nitrógeno en cultivos fijadores	0.03 (kg N/kg biomasa seca)
Factor de emisiones directas del suelo	7.5 (kg N ₂ O-N/ha/año)
Factor de emisión para AWMS	0.02 (kg N ₂ O-N/ha/año)
Fracción de fertilizante sintético aplicado que volatiliza	0.1 (kg N/kg N)
Fracción de estiércol total N excretado que volatiliza	0.2 (kg N/kg N)

*Fuente: Ordoñez y Hernández, 2005. AWMS: Animal Waste Management System

Cuadro 4.8. Emisiones de CH₄ procedentes de la fermentación entérica y el manejo de estiércol. Los datos se presentan en toneladas.

Tipo de ganado	Total de emisiones de CH ₄ (ton)		
	2005	2007	2009
Vacuno leche	0.06	0.06	0.06
Vacuno carne	6.06	5.86	6.39
Ovino	0.16	0.17	0.22
Caprino	0.17	0.15	0.21
Equinos (caballos, asnos y mulas)	0.62	0.48	0.48
Porcino	0.15	0.15	0.14
Aves de corral (pavos, gansos, patos, gallinas, codornices)	0.08	0.09	0.10
Total	7.30	6.96	7.60

Fuente: Elaborado con información propia obtenida de las hojas de cálculo del programa CMNUCC.

El manejo del estiércol del ganado produce emisiones de óxido nitroso que se forma como parte del ciclo de nitrógeno, presente en el excremento y la orina del ganado; la cantidad de óxido nitroso depende de la composición del estiércol y la orina (Berra y Finster, 2002). En el cuadro 4.10 se muestran las emisiones de óxido nitroso procedentes del sistema de manejo de estiércol. Cabe mencionar que para los sistemas de tipo lagunas anaerobias, utilización para abonado diario y lo relacionado a pastoreo de ganado en potreros y pastizales, no se incluyen en el resumen del cuadro 4.9, en virtud de que en la base de datos utilizada no existe el factor de emisión correspondiente o bien, no hay datos que informen acerca de la excreción de nitrógeno (específicamente por el manejo de excretas en lagunas anaerobias).

Cuadro 4.9. Resumen de las emisiones de N₂O procedentes de la producción pecuaria. Los datos se muestran en toneladas para una mejor observación de los datos.

Sistema de Manejo de estiércol (SME)	Generación de N ₂ O (Ton)		
	2005	2007	2009
Almacenamiento de residuos sólidos y en corrales	20.00	20.00	20.00

Fuente: Elaborado con información propia obtenida con la metodología del CMNUCC.

4.3.2. Cultivos

El cultivo de arroz en el estado de Morelos, por su superficie cosechada, genera emisiones importantes de metano (Cuadro 4.10), así como la descomposición anaeróbica de la materia orgánica en los arrozales anegados, en donde se generan estas emisiones durante la estación de crecimiento (Ordoñez y Hernández, 2005).

4.3.3. Quema de residuos agrícolas en el campo

Un cultivo que debe destacarse por su importancia, tanto por el valor de su producción como por el volumen cosechado, en el estado de Morelos, es la caña de azúcar, la cual repercute positivamente en la economía del mismo. Sin embargo, para el caso de las emisiones de GEI (CH₄, N₂O, CO, NO_x), este cultivo contribuye de manera considerable, ya que predomina la práctica de quema del cultivo como una estrategia para concentrar la sacarosa antes de la producción de azúcar, además de facilitar el corte de caña durante la zafra. Los sistemas agrícolas producen grandes cantidades de residuos y la quema en el campo es una práctica agrícola común. En el cuadro 4.10 se presentan las emisiones de GEI procedentes de esta actividad.

Cuadro 4.10. Emisiones procedentes de la quema de residuos agrícolas en campo.

GEI	Emisiones provenientes de los arrozales anegados (Gg)			Emisiones provenientes de la quema de caña de azúcar (Gg)		
	2005	2007	2009	2005	2007	2009
Metano (CH ₄)	0.29	0.21	0.28	0.29	0.31	0.29
Óxido nitroso (N ₂ O)	--	--	--	0.01	0.01	0.01
Monóxido de carbono (CO)	--	--	--	6.13	6.50	5.94
Óxidos de nitrógeno (NO _x)	--	--	--	0.35	0.37	0.34
TOTAL	0.29	0.21	0.28	6.78	7.19	6.58

Fuente: Elaborado con información propia a través de la metodología del CMNUCC.

4.3.4. Suelos agrícolas

Es necesario destacar los cultivos que, por el volumen de su producción, son importantes para esta subcategoría en el estado de Morelos. De la producción de los principales granos en la entidad, resalta la producción de sorgo en grano, aunque se cultiva para otro tipo de uso, como es el caso del sorgo para forraje. Le sigue en importancia el maíz y finalmente el arroz palay. Su producción se ha mantenido a través del tiempo, básicamente, sin variaciones (Ver Anexo I).

Otros cultivos que destacan por su volumen de producción son la cebolla y el durazno. El primero se ha producido casi en la misma proporción que el maíz, pero desde el año 2009 se ha notado una tendencia a la baja. Por su parte, la producción de duraznos se ha mantenido constante, probablemente por ser un cultivo perenne y porque las condiciones climáticas de la región de los Altos de Morelos la han favorecido (Anexo I).

Por otro lado, las emisiones de N₂O resultantes de los aportes antropogénicos de nitrógeno se producen directamente de los suelos a los que se incorpora nitrógeno, esta emisión se da mediante la volatilización (INE-SEMARNAT, 2006). Las emisiones de N₂O se pueden clasificar en directas e indirectas. En el cuadro 4.11 se muestran las emisiones **directas** de N₂O procedentes de los campos agrícolas.

Cuadro 4.11. Emisiones directas de óxido nitroso procedentes de los suelos agrícolas.

Tipo de aporte de N en el suelo	Emisiones de N ₂ O* (Ton N ₂ O-N/año)		
	2005	2007	2009
Fertilizante sintético (F_{SN})	363.62	363.62	363.62
Estiércol (F^E)	0.12	0.12	0.13
Cultivos fijadores del nitrógeno (F_{BN})	5.63	4.75	3.33
Residuos de las cosechas (F_{RC})	197.24	215.07	275.07
Total	566.61	583.56	642.15

*Los datos se presentan en ton, para convertir a Gg dividir entre 1000.

Para el caso de los suelos agrícolas, el N₂O se produce de 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 y, por ende, la cantidad de N₂O emitido (INE-SEMARNAT, 2006).

Las emisiones **indirectas** de N₂O ocurren por dos mecanismos (Berra y Finster, 2002): una, por la deposición atmosférica del nitrógeno excretado, y la segunda, por lixiviación del nitrógeno excretado. En el cuadro 4.12 se muestran los resultados de las emisiones de N₂O calculadas a través de los datos que se

alimentaron en el módulo 4 del software gratuito (PICC, 1996c) dispuesto por la CMNUCC. Para el caso de emisiones por deposición atmosférica, las emisiones se mantienen constantes en los tres años analizados; y en el caso de las procedentes de la lixiviación, su tendencia es el aumento a través del tiempo.

Cuadro 4.12. Emisiones indirectas de N₂O por el manejo de suelos agrícolas.

Tipo de deposición	Emisiones de N ₂ O (Gg)		
	2005	2007	2009
Emisiones indirectas de óxido nitroso procedentes de la deposición atmosférica de NH ₃ y NO _x (Gg N ₂ O-N/año)	0.03	0.03	0.03
Emisiones indirectas de óxido nitroso procedentes de la lixiviación (Gg)	1.32	1.35	1.44
Total	1.35	1.38	1.47

Es importante destacar que en las hojas de cálculo del programa CMNUCC, únicamente se considera a las emisiones de N₂O en suelos agrícolas procedentes de la lixiviación.

4.3.5. Resumen de las fuentes de emisión de Gases de Efecto Invernadero en la categoría de Agricultura

En el estado de Morelos, los principales GEI que se emiten de la subcategoría de Agricultura se muestran en el cuadro 4.13. En el año 2005, la principal emisión provino del CO generado durante la quema de residuos agrícolas como la caña de azúcar; sin embargo, en el 2009, tuvo una disminución del 3.09% en sus emisiones con respecto al año base 2005. La segunda fuente de emisiones corresponde al N₂O que se emite por el uso de suelos agrícolas, por el manejo de estiércol del ganado doméstico y por la quema de residuos agrícolas. Se observa que hubo un aumento en las emisiones de N₂O del 8.88% en 2009 en comparación con el año base. En los mismos años, las emisiones de CH₄ y NO_x disminuyeron 3.38% y 2.85%, respectivamente.

Con los datos obtenidos, se estimó la cantidad de CO₂ eq emitido a partir de los diferentes GEI y los resultados se muestran en el cuadro 4.14. De acuerdo con estos cálculos, el comportamiento de los datos indica que a través del tiempo las emisiones de CO₂ eq por el manejo de suelos agrícolas es el responsable de las mayores emisiones de GEI, y muestra un aumento del 8.97% en el 2009, con respecto al año base 2005. Por otro lado, en los mismos años, las emisiones por la quema de caña de azúcar han disminuido 3.09%, lo cual concuerda con la disminución en la producción del mencionado producto. En general, las emisiones de CO₂ eq de esta categoría se incrementaron un 8.40% en 2009, en comparación con el 2005.

Cuadro 4.13. Total de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero procedentes de la categoría de Agricultura.

Subcategoría	2005 (Gg)				2007 (Gg)				2009 (Gg)			
	CH ₄	N ₂ O	CO	NO _x	CH ₄	N ₂ O	CO	NO _x	CH ₄	N ₂ O	CO	NO _x
Quema del cultivo de caña de azúcar	0.29	0.01	6.13	0.35	0.31	0.01	6.50	0.37	0.28	0.01	5.94	0.34
Suelos agrícolas	-	1.32	-	-	-	1.35	-	-	-	1.44	-	-
Cultivo de arroz	0.29	-	-	-	0.21	-	-	-	0.28	-	-	-
Manejo de estiércol	-	0.02	-	-	-	0.02	-	-	-	0.02	-	-
Fermentación entérica	0.01	-	-	-	0.01	-	-	-	0.01	-	-	-
Total	0.59	1.35	6.13	0.35	0.53	1.38	6.50	0.37	0.57	1.47	5.94	0.34

Cuadro 4.14. Emisiones de CO₂ eq de la categoría de Agricultura.

Subcategoría	Gas	Generación de CO ₂ eq (Gg)		
		2005	2007	2009
Suelos agrícolas	N ₂ O	410.01	418.26	446.81
Manejo de estiércol	N ₂ O	6.20	6.20	6.20
Producción de arroz	CH ₄	6.18	4.33	5.96
Quema de cultivo de caña de azúcar	CH ₄	6.13	6.50	5.94
Quema de cultivo de caña de azúcar	N ₂ O	2.99	3.17	2.89
Fermentación entérica	CH ₄	0.15	0.14	0.15
Manejo de estiércol	CH ₄	0.01	0.01	0.01
Total		431.67	438.61	467.96

La emisión en porcentaje de CO₂ eq se comporta de la siguiente manera (Figura 4.2):

Suelos agrícolas > quema de cultivo de caña de azúcar > manejo de estiércol > producción de arroz > fermentación entérica

AGRICULTURA

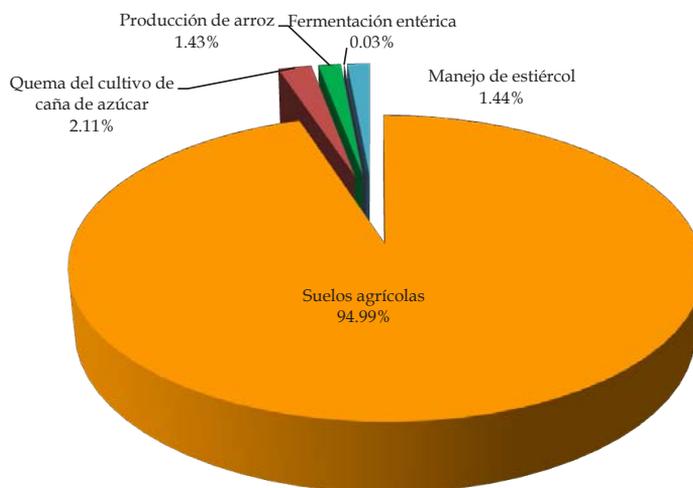


Figura 4.2. Porcentaje de emisión de CO₂ eq por subcategorías para la categoría Agricultura en el 2005.

4.3.6. Comparación de las estimaciones de GEI de la subcategoría Agricultura en Morelos y en el Inventario Nacional de Emisiones de GEI, Cuarta Comunicación Nacional.

La comparación entre las emisiones de CO₂ eq generadas en el estado de Morelos durante el 2005, con las emisiones generadas en la misma subcategoría en el Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero, Cuarta Comunicación Nacional, muestran que en ese año, Morelos contribuyó con el 0.96% de las emisiones totales (Cuadro 4.15).

Cuadro 4.15. Comparativo de las emisiones de GEI en CO₂ eq del estado de Morelos y Nacionales de la categoría de Agricultura para 2005.

Subcategoría	Nacional* (Gg)	Morelos (Gg)	%
Quema de residuos agrícolas	52.00	9.12	17.53
Suelos agrícolas	6,776.70	410.01	6.05
Cultivo de arroz	145.60	6.18	4.24
Manejo de estiércol	1,165.80	6.21	0.53
Fermentación entérica	36,985.20	0.15	0.0004
TOTAL	45,125.30	431.67	0.96

*Fuente: Inventario Nacional de Emisiones de GEI 1990-2006 informado en la Cuarta Comunicación Nacional ante la CMNUCC (INE-SEMARNAT, 2009).

4.4. Discusión

Las actividades agrícolas y ganaderas contribuyen directamente a las emisiones de Gases de Efecto Invernadero a través de diversos procesos, al igual que se producen por la fermentación entérica, el manejo de estiércol (ganado doméstico), el cultivo de arroz, la quema de cultivos de caña de azúcar y el uso de suelos agrícolas.

Para el caso de las emisiones de metano procedentes del ganado, se encontró que, respecto a los años trabajados, en el 2009 se registró la mayor emisión, lo que concuerda con el incremento del número de cabezas de ganado (Cuadros 4.2 y 4.8). Las emisiones de CH₄ generadas por la fermentación entérica y el manejo de estiércol en 2009 fueron de 7.60 ton (0.0076 Gg), lo que representa un incremento del 4.10% con respecto al año base 2005. Estas emisiones provienen principalmente del ganado para la producción de carne, ya que, como se mencionó anteriormente, las emisiones dependen de la cantidad y tipo de alimento que consumen, pues por el hecho de ser rumiantes tienen emisiones de metano mayores a las de otros animales.

Otras subcategorías que emiten CH₄, son el cultivo de arroz bajo régimen de inundación y la quema del cultivo de caña de azúcar. Para el caso del cultivo de arroz se produce por la descomposición anaeróbica del material orgánico, el cual escapa a la atmósfera durante la etapa de crecimiento. La cantidad de CH₄ emitido está en función del área cultivada, el tipo de arroz empleado, su fertilización y las prácticas de manejo de aguas utilizadas. Durante el 2009, este cultivo emitió 0.28 Gg de CH₄, lo que significa que disminuyó 3.45% sus emisiones con respecto al 2005 (0.29 Gg de CH₄). Por su parte, las emisiones provenientes de la quema de caña de azúcar en 2009, que fueron de 0.28 Gg de CH₄, disminuyeron un 3.45% en comparación con los 0.29 Gg que se emitieron en el 2005. En la figura 4.3 se muestran los aportes porcentuales de las diferentes subcategorías que emitieron CH₄ en el estado durante el 2005. Tanto el cultivo de arroz como la quema de los cultivos de caña de azúcar contribuyeron con el 49.15% del total de las emisiones de este gas, en tanto que las emisiones del ganado doméstico son las menores, con sólo el 1.69%.

Con respecto al N₂O, en Morelos son tres las subcategorías que lo emiten: el ganado doméstico, la quema del cultivo de caña de azúcar y el uso de suelos agrícolas.

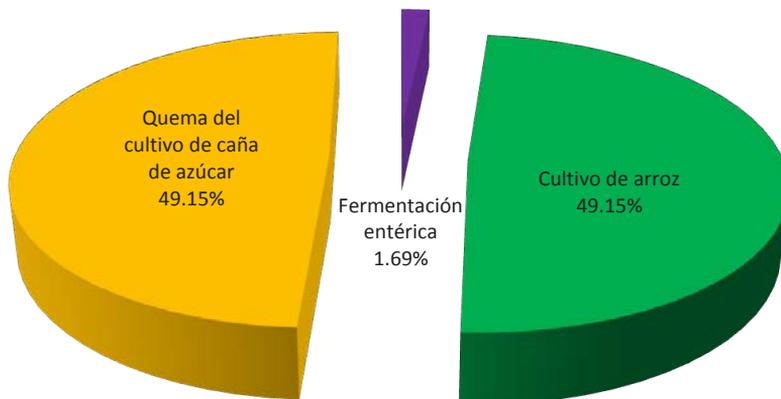


Figura 4.3. Porcentajes de emisiones de metano de las subcategorías de la categoría Agricultura, en 2005.

Las emisiones de N_2O por el manejo de estiércol del ganado, resultan del estiércol y la orina del ganado que se tratan en sistemas líquidos o que se recolecta y almacena en forma sólida, el N_2O se forma como parte del ciclo de nitrógeno, a través de la desnitrificación del nitrógeno orgánico presente en el estiércol y en la orina del ganado. La producción es variable ya que depende de la composición del estiércol y la orina; para el 2005, la emisión procedente de los sistemas de manejo de estiércol por el almacenamiento de residuos sólidos y en corrales fue de 20 ton (0.02 Gg) de N_2O , y dicho valor no se modificó en 2009 (Cuadro 4.10). En general, las aportaciones de N_2O provenientes del ganado doméstico, que incluye el manejo de estiércol, no cambian y mantienen sus emisiones en 2009 y el año base 2005.

Otra subcategoría con aportaciones de N_2O es la quema del cultivo de caña de azúcar, de la cual, en 2005, se emitieron 0.01 Gg; estas emisiones se mantuvieron en los mismo valores para el 2009.

El uso de suelos agrícolas produce emisiones indirectas de N_2O , que se generan a partir del nitrógeno excretado por los animales. Mediante la volatilización, parte de este nitrógeno entra a la atmósfera en forma de amoníaco y óxidos de nitrógeno, y luego retorna a los suelos por deposición atmosférica, aumentando la producción de óxido nitroso. En cuanto el proceso de lixiviación se une a los sistemas de aguas subterráneas, se emite N_2O .

La deposición de estiércol y de orina de los animales que se mantienen en pastoreo sobre las praderas y pastizales es una de las vías directas de incorporación de nitrógeno a los suelos. Las emisiones corresponden al óxido nitroso que se produce a partir del estiércol y la orina de los animales, que no se utilizan como

fertilizantes, ni se tratan de ninguna manera, si no que quedan depositados sobre los pastizales o campos naturales (Figura 4.4).

En Morelos, debido al tipo de deposición, ya sea atmosférica o por lixiviación, se emiten cantidades importantes de N_2O (Cuadro 4.9). Se observa que las emisiones que proceden de la deposición atmosférica no presentaron modificaciones en los años evaluados, pero, por el contrario, las emisiones procedentes de la lixiviación registraron un incremento en 2009 del 3.42% respecto al año base 2005.

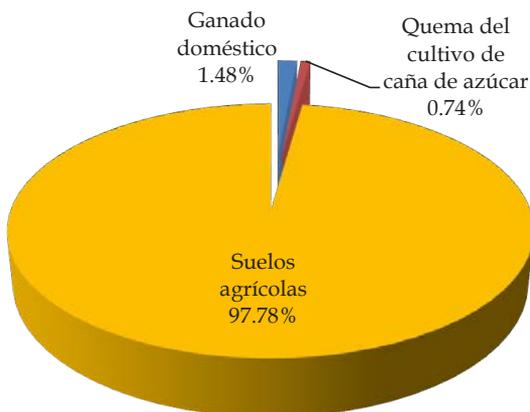


Figura 4.4. Porcentajes de emisión de óxido nítrico de las diferentes subcategorías de la categoría Agricultura, en 2005.

Para el caso del CO , su principal fuente en Morelos proviene de la quema de la caña de azúcar; en 2005 se emitieron 6.13 Gg mientras que en 2009 fueron 5.94 Gg, lo que muestra una disminución del 3.09% en las emisiones. Algo similar se encontró con las emisiones de NO_x en 2005 y 2009, cuya disminución fue del 2.85%. En la figura 4.5, se muestran los GEI que se generan de la quema de caña de azúcar y se observa que es el CO la principal emisión; le siguen en importancia los óxidos de nitrógeno, el metano y el óxido nítrico.

En general, en Morelos, para el año 2009, el gas que se emitió en mayor proporción, en esta categoría, fue el CO que procede principalmente de la quema del cultivo de caña de azúcar. Le sigue en importancia el N_2O generado por el uso de los suelos agrícolas, el CH_4 proveniente de la quema de caña de azúcar y del cultivo de arroz y la fermentación entérica. Finalmente, los óxidos de nitrógeno provenientes de la quema de cultivos de caña de azúcar son la menor contribución en las emisiones. Un comportamiento similar en cuanto a la emisión de gases se observó en el año base 2005 (Cuadro 4.13).

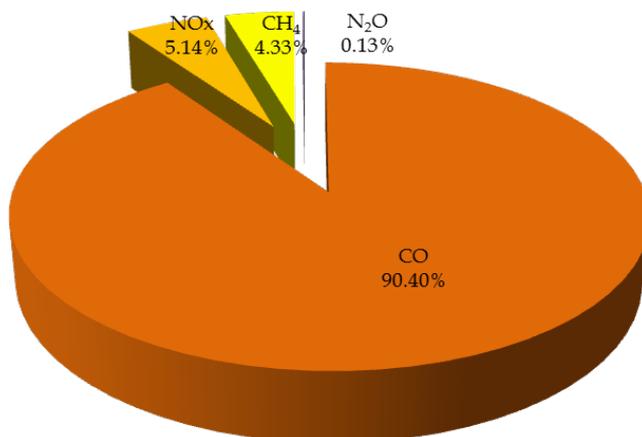
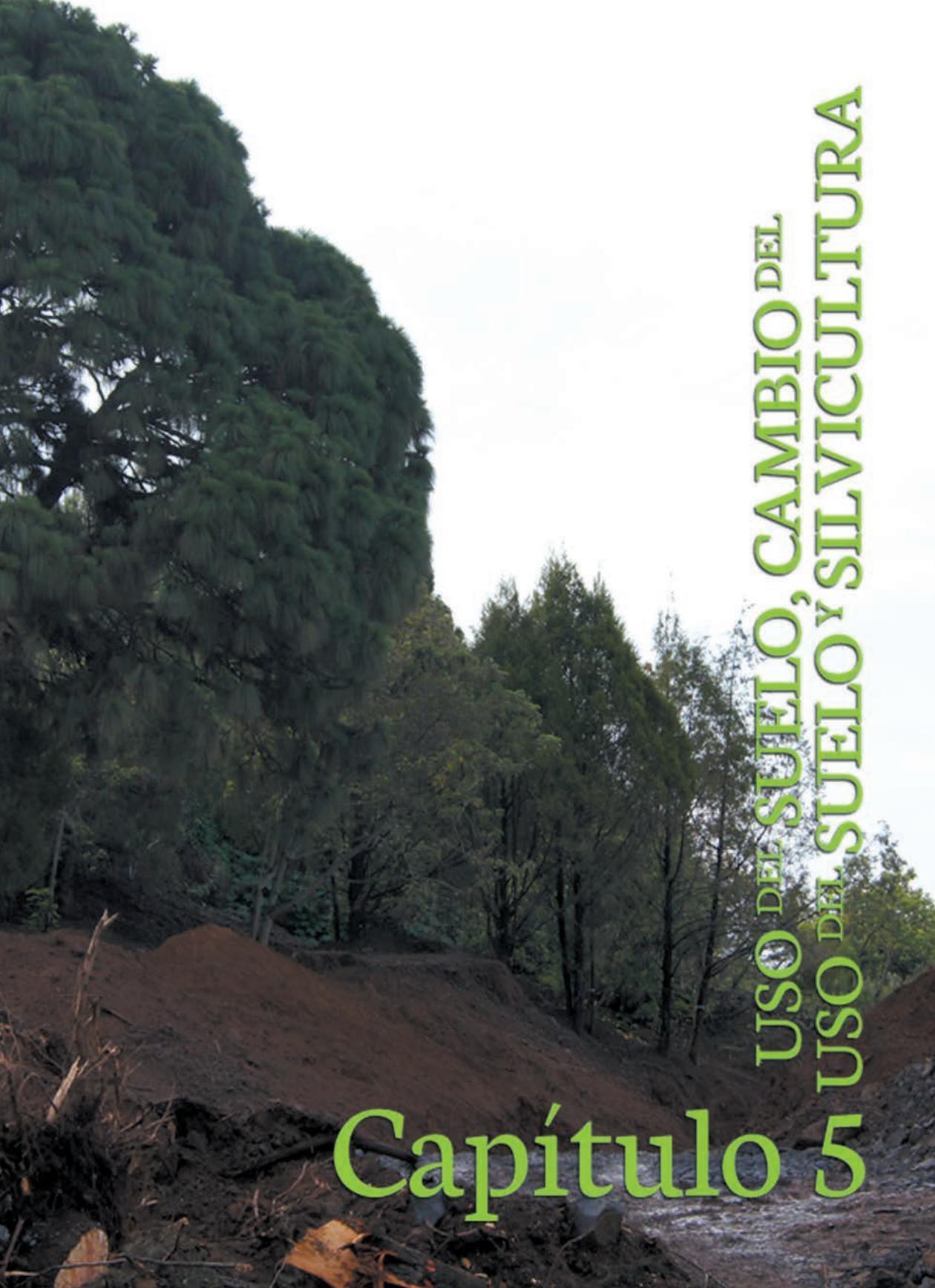


Figura 4.5. Contribución porcentual de las emisiones de los diferentes GEI en la quema de cultivos de caña de azúcar en 2005.

4.5. Conclusiones

- En la categoría de Agricultura, la subcategoría de la quema de cultivos de caña de azúcar es la responsable de la mayor proporción de emisión de GEI, en orden de importancia son el CO, los NO_x, el CH₄ y el N₂O.
- Las principales emisiones de metano provienen del cultivo de arroz y la quema del cultivo de caña de azúcar, los cuales contribuyen en igual proporción a las emisiones.
- La producción más significativa de óxido nitroso proviene de los suelos agrícolas, seguida de las emisiones generadas por el manejo de estiércol y la quema del cultivo de caña de azúcar.
- Debido a las actividades de agricultura (suelos agrícolas, manejo de estiércol, fermentación entérica, quema de cultivo de caña de azúcar y producción de arroz), se emitieron, en 2005, 431.67 Gg de CO₂ eq, mientras que en 2009, fueron 467.96 Gg de CO₂ eq, lo que representa un incremento del 8.40% en las emisiones.
- En esta categoría, Morelos contribuyó con el 0.96% de las emisiones nacionales en el año 2005.



USO DEL SUELO, CAMBIO DEL
USO DEL SUELO Y SILVICULTURA

Capítulo 5

CAPÍTULO 5

USO DE SUELO, CAMBIO DE USO DE SUELO Y SILVICULTURA

5.1. Introducción

En 1993, México ratificó el convenio Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático y a partir de entonces adquirió el compromiso de elaborar, actualizar periódicamente y publicar inventarios nacionales de las emisiones antropogénicas por las fuentes, así como de la absorción por los sumideros de los gases de efecto invernadero no controlados por el Protocolo de Montreal, utilizando metodologías comparables, acordadas por la Conferencia de las Partes (García, 2009).

La degradación e intensificación del uso y ocupación del suelo ocurrida en muchos países de regiones tropicales, ha ocasionado profundos cambios en el paisaje terrestre, un ejemplo es la eliminación sistemática de bosques y selvas que ha provocado, en gran medida, la pérdida de la biodiversidad (Lambin *et al.*, 2003), además de la pérdida del capital natural y la pérdida cultural (Mas *et al.*, 2009). Los principales factores asociados al cambio del uso del suelo son el crecimiento de la población, el crecimiento de la frontera agrícola y el proceso de urbanización e industrialización.

La categoría de Uso de Suelo, Cambio de Uso de Suelo y Silvicultura (USCUSyS), representa una importante fuente de emisiones de CO₂, fundamentalmente por las actividades relacionadas con el corte y quema de bosques y selvas. Cuando la deforestación se realiza para limpiar áreas de bosques y convertirlas en tierras cultivadas, o con cualquier otro uso no forestal, en general resulta en balances negativos, es decir, que es mayor la emisión de CO₂ con la agricultura que lo que se fija en los cultivos y los suelos. Otro caso que generalmente resulta en emisiones netas de CO₂, es la tala de bosques para cosechar maderas de alto valor y en cuyo proceso no se maneja el rebrote del bosque secundario que crece al abandonar el sitio de explotación. El Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (PICC, 1996a), estima que entre el 15% y el 20% del CO₂ emitido a la atmósfera a nivel mundial proviene de estos cambios en el uso del suelo.

Sin embargo, es importante señalar que existen casos de cambios en el uso del suelo que resultan en fijación neta de CO₂, es decir, que la cantidad de carbono que se fija es mayor que las emisiones: la conversión de pastizales poco productivos a bosques bien manejados, la conversión de pastizales naturales poco productivos a pastizales mejorados (incluyen especies más productivas y/o adecuada fertilización) y algunos casos de crecimiento secundario de bosques naturales que, cuando están bien manejados, pueden igualar o superar la fijación de CO₂ con respecto al bosque nativo original. No obstante, aun cuando en estos casos los

balances netos de carbono sean favorables, pueden resultar en la pérdida irreversible de especies nativas (Baethgen y Martino, 2001).

Los análisis de los resultados de los dos primeros inventarios nacionales de Gases de Efecto Invernadero ubican a la categoría Uso de Suelo, Cambio de Uso de Suelo y Silvicultura como la segunda en importancia después de la Energética. Con base en datos reportados en la Segunda Comunicación Nacional se puede señalar que esta categoría aporta el 23.5% del total de emisiones estimadas (INE-SEMARNAT, 2001); sin embargo, en la Cuarta Comunicación Nacional ante la convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (INE-SEMARNAT, 2009), la categoría USCUSyS se ubicó en la tercera posición en emisiones de CO₂ eq, después de la de Energía y Residuos.

Morelos es uno de los estados más pequeños de la República Mexicana, con una superficie de 4,961 km², representa el 0.2% del territorio nacional (INEGI-Gobierno del Estado de Morelos, 2010 y Aguilar *et al.*, 2006). No obstante, como una entidad integrada a la República Mexicana, asume su responsabilidad de informar acerca de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero por categoría.

La categoría de Uso de Suelo, Cambio de Uso de Suelo y Silvicultura contempla las subcategorías listadas en el cuadro 5.1.

Cuadro 5.1. Subcategorías de USCUSyS.

Subcategoría	Incluye
Cambios de biomasa de bosques y otros tipos de vegetación leñosa	Bosques tropicales Bosques templados
Conversión de bosques y praderas	Bosques tropicales Bosques templados
Captura por abandono de tierras	Bosques tropicales Bosques templados
Emisiones y remociones de CO₂ del suelo	Cultivo de suelos minerales Cultivo de suelos orgánicos Encalado de suelos agrícolas

Para la categoría USCUSyS se estimaron las emisiones de GEI provenientes de la superficie bajo manejo forestal, como la vegetación (CO₂) y el cambio de uso de suelo. También se estiman las emisiones de gases distintos al CO₂ como el CH₄, el CO, el N₂O y los NO_x generadas por la quema de biomasa (leña, estiércol) y de los residuos agrícolas.

5.2. Metodología

Se utilizó el módulo 5 del software gratuito dispuesto por la CMNUCC, en donde a partir de la información recabada se realizaron las estimaciones correspondientes. Los ocho archivos que conforman este programa (CMNUCC_NAI_IS_132.zip) se pueden descargar directamente de la dirección electrónica http://unfccc.int/national_reports/nonannex_i_natcom/training_material/methodological_documents/items/349.php.⁵

De acuerdo a las Directrices del PICC del Manual de referencia, Volumen 3 (1997b), los datos reportados en los inventarios se clasifican de acuerdo al nivel de detalle con que se estiman. Actualmente, la información con la que se cuenta en el estado de Morelos permite utilizar la metodología en un Nivel 1 (Tier 1).

Las fuentes de información para la obtención de los datos de actividad se resumen en el cuadro 5.2.

Cuadro 5.2. Fuentes de información para los datos de actividad de la categoría USCUSyS.

Dato obtenido	Institución de procedencia	Fuente de información
Superficies de vegetación predominantes (bosques y selvas)	INEGI 1996 y 2005	Cartas de Uso del Suelo y Vegetación, Serie II y III (escala 1:250,000) (INEGI, 1996 y 2005a).
	CONAFOR	Comunicación personal
Sistema de manejo edáfico, producción forestal maderable; superficies de vegetación predominantes (bosques y selvas)	INEGI	Versiones descargables de los anuarios estadísticos de Morelos. http://www.inegi.org.mx/sistemas/productos/default.aspx?c=18130&upc=702825169138&s=est&tg=8&f=2&pf=Prod&ef=00&cl=0&pg=0#inicio
Producción forestal maderable	SEMARNAT	Compendio de estadísticas ambientales 2010. http://aplicaciones.semarnat.gob.mx/estadisticas/compendio2010/index.html

⁵ Debido a las actualizaciones frecuentes de los programas y páginas electrónicas, los nombres de los archivos y sus ubicaciones pueden variar, en ese caso se recomienda hacer una búsqueda con los términos "UNFCCC software for GHG inventories". Tomado del Manual de referencia rápida para el desarrollo de inventarios de emisiones de gases de efecto invernadero para las diferentes categorías en México

5.3. Cambios de biomasa de bosques y otros tipos de vegetación leñosa

A pesar de la importancia ecológica, no se cuenta con cartografía actualizada de vegetación y uso del suelo del estado de Morelos (Vega *et al.*, 2008), no existen registros o estadísticas forestales estatales recabadas de manera regular y sistemática a lo largo del tiempo y manteniendo series históricas. La clasificación de la vegetación propuesta por el PICC no es adecuada para los tipos de vegetación que existen en el estado de Morelos, por esta razón se hicieron algunas adaptaciones a los tipos de comunidades vegetales sugeridas para las plantaciones forestales y opciones de manejo forestal.

5.3.1. Datos de actividad

Los tipos forestales utilizados en la realización del inventario de GEI de la Categoría USCUSyS son representativos del territorio estatal: bosque de coníferas, bosque de encinos (latifoliadas), bosque pino-encino y selva baja caducifolia. Se consideró también la presencia de vegetación secundaria en las principales comunidades vegetales.

Se cuenta con los estadísticas de la superficie de bosques de coníferas, de bosque de coníferas y latifoliadas y de selva baja caducifolia para los años 2005, 2007 y 2009 (Cuadro 5.3). No existe información para el resto de los tipos forestales.

Cuadro 5.3. Tipo de vegetación predominante en el estado de Morelos en los años 2005, 2007 y 2009.

Tipo de Vegetación*		Área (kha)			
		2005	2007	2009	ΔV
Bosque	Coníferas	42.03	30.81	30.81	-11.22
Bosque	Coníferas y latifoliadas	12.10**	23.32	23.32	11.22
Selva	Baja caducifolia	149.18	4.08	4.08	-145.10
Selva VS	Varias	42.96**	110.86	110.86	67.90

*Fuente: Carta de Uso del Suelo y Vegetación Serie II y III INEGI, Escala 1:250,000 (INEGI, 1996, 2005a). **Estos valores se estimaron a partir de la información conocida del área de bosque de coníferas y selva baja caducifolia, debido a que no se reportaban en la información oficial del INEGI, 1996 y 2005a. ΔV = Diferencia en el área ocupada por la respectiva vegetación entre 2005 y 2009. Selva VS = selva con vegetación secundaria.

La información oficial sobre la superficie forestal del estado muestra deficiencias en cuanto al área que se reporta para los diferentes tipos forestales; existen años en los cuales no se reporta el área, por lo que se tuvieron que estimar a partir de la

información de los años previos y posteriores. En otros casos se observa que no hay cambios en el área a lo largo del tiempo, lo que genera importantes inconsistencias en los datos y, como consecuencia, un mayor porcentaje de incertidumbre. En cuanto a la información de la cosecha comercial, ésta corresponde al volumen de producción forestal maderable para el estado de Morelos (Cuadro 5.4).

Cuadro 5.4. Cosecha comercial en el estado de Morelos.

Año	Producción forestal maderable (1000 m ³)
2005	1.65*
2007	2.49*
2009	3.76**

*Fuente: El valor de la producción forestal maderable es un promedio de dos valores reportados por las fuentes oficiales: Anuarios estadísticos de Morelos (INEGI 2006 y 2008) y SEMARNAT, 2005.

**Fuente: Anuario estadístico de Morelos 2010 (INEGI).

5.3.2. Factores de emisión

Se utilizaron los factores de emisión por defecto sugeridos en las Directrices del Panel Intergubernamental de Cambio Climático para los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero, versión 1996 y el Manual sobre las buenas prácticas y la gestión de la incertidumbre en los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero del PICC (PICC, 1996a, b y d) (Cuadro 5.5).

Cuadro 5.5. Valores por defecto para calcular las emisiones de GEI provenientes de la subcategoría de Cambios de biomasa de bosques y otros tipos de vegetación leñosa.

Dato	Valor
Fracción de carbono de la materia seca	0.45*
Proporción de conversión de biomasa/expansión	1.76 (t dm/m ³)**
Consumo de leña utilizada como combustible	0.0525 (kt dm) [§]

*Fuente: Manual de referencia, Uso de Suelo y Silvicultura (PICC, 1996b). **Fuente: INE, 2001.

§Fuente: Compendio de estadísticas ambientales (SEMARNAT, 2010).

5.4. Conversión de bosques y praderas

La conversión de bosques y praderas a tierras de cultivo o pastos permanentes ocurre principalmente en los trópicos. La tala de los bosques tropicales supone generalmente el desbroce del sotobosque y la tala de árboles, las cuales van seguidas de la quema de biomasa *in situ* o de su aprovechamiento como leña. En

este proceso, parte de la biomasa se quema y otra parte permanece en el campo, donde se descompone lentamente (en los trópicos, generalmente es a lo largo de un período de diez años). Además, una pequeña parte del material quemado se convierte en carbón vegetal, que resiste a la descomposición durante más de 100 años, y el resto se libera de manera instantánea a la atmósfera en forma de CO₂.

5.4.1. Datos de actividad

La información que se requiere para el cálculo de las emisiones procedentes de la conversión de bosques y praderas, es la superficie de bosques y praderas convertidas en tierras cultivadas y pastos durante los últimos diez años y el año del inventario. Para obtener las estimaciones de las emisiones de CO₂ procedentes de esta categoría se realizan tres tipos de cálculos: 1) el CO₂ emitido durante la quema de la biomasa aérea (emisiones inmediatas que ocurren en el año de la conversión); 2) El CO₂ liberado durante la descomposición de la biomasa aérea (emisiones diferidas que ocurren a lo largo de diez años), y 3) el CO₂ liberado de los suelos. La suma de estos cálculos corresponde al total de carbono liberado de la vegetación, esto es, a las emisiones de CO₂. En el cuadro 5.6, se muestra el área de vegetación que ha sido convertida en los años 2005 y 2009, así como la pérdida anual de la biomasa debida a la conversión.

Cuadro 5.6. Área convertida y pérdida anual de biomasa en los diferentes tipos de vegetación en el estado de Morelos en los años 2005 y 2009.

Vegetación	Área convertida 2005*	Pérdida anual de biomasa [§]	Área convertida 2009*	Pérdida anual de biomasa [§]
	Ha	Materia seca (ton)	Ha	Materia seca (ton)
Bosque de coníferas	336.23	31,269.22	246.48	22,922.64
Bosque de coníferas y latifoliadas	96.83	4,987.89	186.56	9,609.71
Selva baja caducifolia	1,193.43	68,025.72	32.64	1,860.48
Selva/vegetación secundaria	343.71	8,248.99	886.88	21,285.12
Total	1,970.20	112,531.82	1,352.56	55,677.95

*Datos obtenidos a partir de la información de la Carta de Uso del Suelo y Vegetación Serie II y III INEGI, Escala 1:250,000 (INEGI, 1996, 2005a) y considerando un valor de cambio anual de 0.8% de las respectivas superficies (Dr. Ordoñez-Díaz, J.A.B comunicación personal, PRONATURA, A.C, Facultad de Ciencias, UNAM). [§]La pérdida anual de biomasa se obtuvo a partir de las hojas de cálculo del programa CMNUCC.

5.4.2. Factores de emisión

Se utilizaron los valores por defecto reportados en el Libro de trabajo (PICC, 1996d) y en el Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero 1994-1998 (INE-SEMARNAT, 2000) que se muestran en el cuadro 5.7.

Cuadro 5.7. Valores por defecto empleados en el cálculo de las emisiones que provienen de la conversión de bosques y praderas.

Dato	Valor
Biomasa antes de la conversión*	Bosque = 120 (t dm/ha) Bosque coníferas y latifoliadas = 78.51 (t dm/ha) Selva = 78 (t dm/ha) Selva/ vegetación secundaria = 45 (t dm/ha)
Biomasa después de la conversión*	Bosque = 27 (t dm/ha) Bosque coníferas y latifoliadas = 27 (t dm/ha) Selva = 78 (t dm/ha) Selva/ vegetación secundaria = 45 (t dm/ha)
Fracción de biomasa oxidada dentro del sitio*	0.9
Fracción de carbono de la biomasa aérea (quemada fuera del sitio)**	0.45
Fracción de biomasa oxidada fuera del sitio*	0.9
Fracción de biomasa quemada fuera del sitio*	0.1
Fracción abandonada que se descompone**	0.5
Relación nitrógeno-carbono	0.01
Relaciones de emisión de los gases distintos del CO₂	CH ₄ = 0.012 CO = 0.06 N ₂ O = 0.007 NO _x = 0.121

*Fuente: INE 2001; **Fuente: Libro de trabajo, Volumen 2, Sección USCUSyS (PICC, 1996d).

5.5. Captura por abandono de tierras

El cambio de uso de suelo es un proceso con alta dinámica, en el cual, los cambios por el abandono de los actuales usos del suelo son una actividad constante (INE-SEMARNAT, 2006). Por otro lado, en nuestro país se ha observado que el cambio de uso de suelo varía de acuerdo al tipo de vegetación y el relieve. A pesar de que los procesos de abandono son más frecuentes en las zonas tropicales por sus

características edáficas y uso de suelo, el resto de los tipos de vegetación no quedan exentos de esta actividad (INE-SEMARNAT, 2006). El carbono puede acumularse en las tierras que han sido abandonadas (pastizales y tierras de cultivo) y en donde la vegetación ha vuelto a crecer. Debido a que las tasas de regeneración disminuyen con el tiempo, se considera a las tierras abandonadas durante los veinte años previos al año en que se realiza el inventario.

5.5.1. Datos de actividad

Se estimó la absorción anual de carbono en la biomasa aérea de las tierras abandonadas, considerando un horizonte de tiempo de veinte años y mayores (Cuadro 5.8).

Cuadro 5.8. Datos para el área convertida en Morelos para los años 2005, 2007 y 2009 en 10 y 20 años.

Tipo de vegetación	Área de la vegetación (kha)			Área convertida en 10 años (kha)**	Área convertida en 20 años (kha)§
	2005	2007	2009		
Bosque de coníferas	42.03	30.81	30.81	0.17	0.34
Bosque de coníferas y latifoliadas	12.10	23.32	23.32	0.04	0.09
Selva baja caducifolia	149.18	4.08	4.08	0.60	1.21
Selva/vegetación secundaria	42.96	110.86	110.86	0.17	0.34
Total	246.27*	169.07	169.07*	0.98	1.98

*Para 2005, se estimaron los valores de las superficies de bosque de coníferas y latifoliadas, y de la selva con vegetación secundaria; para bosque y selva en el año 2005 los datos se obtuvieron de INEGI, 1996. Para los años 2007 y 2009 los valores que se muestran provienen de INEGI, 2005a. **El área convertida en diez años se calculó por el cociente del área de cada tipo de vegetación y el total del área de la vegetación. §El área convertida en veinte años es el doble del área convertida en diez años.

5.5.2. Factores de emisión

Se utilizaron los valores por defecto reportados en el Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero 1994-1998 y 1999-2002 (INE-SEMARNAT, 2000 y 2006) (Cuadro 5.9).

Cuadro 5.9. Fracciones utilizadas para el cálculo de las emisiones por abandono de tierra.

Dato	Valor
Fracción de carbono de la biomasa aérea*	0.45
Fracción anual de crecimiento de la biomasa aérea**	Bosque de coníferas = 1.3 Bosque de coníferas y latifoliadas = 1.1 Selva baja caducifolia = 0.26 Selva/vegetación secundaria 0.48

*Fuente: INE-SEMARNAT, 2000, **INE-SEMARNAT, 2006.

5.6. Emisiones y remociones de CO₂ del suelo

Las principales emisiones y remociones de CO₂ en el suelo se asocian a los cambios en la cantidad de carbono orgánico almacenado en el mismo. La liberación de CO₂ también puede provenir de fuentes inorgánicas como los carbonatos minerales o por la aplicación de cal en los suelos (PICC, 1996b).

Básicamente, los cambios en el contenido de carbono orgánico dependen del balance que exista entre las deposiciones al suelo de carbono fijado por fotosíntesis y las pérdidas de carbono por la descomposición. En los suelos, la entrada de materia orgánica en cantidad y calidad, así como la tasa de descomposición del carbono orgánico en el suelo está determinada por la interacción del clima, el suelo y el manejo y uso del suelo (PICC, 1996b).

5.6.1. Datos de actividad

La información sobre el área correspondiente a los diferentes sistemas de manejo de tierra, sólo se obtuvo para el bosque y selva hace 20 años (Trejo y Hernández, 1996), para el resto de los sistemas no existe información disponible (Cuadro 5.10).

Cuadro 5.10. Áreas correspondiente a bosque y selva hace 20 años y en el 2005.

Sistema de manejo de tierra	Área hace 20 años (Mha)*	Área en 2005 (Mha)**
Bosque	0.05	0.04
Selva	0.13	0.14

*El cálculo de estos valores se hizo considerando la información de la cobertura porcentual de bosque y selva respecto a la superficie del estado de Morelos, como se reporta en Trejo y Hernández (1996). **Datos tomados de la Carta de Uso del Suelo y Vegetación Serie II y III INEGI, Escala 1:250,000 (INEGI, 1996, 2005a).

5.6.2. Factores de emisión

En el cuadro 5.11 se muestran los contenidos de carbono en suelo que se utilizaron para el cálculo de las emisiones provenientes del suelo.

Cuadro 5.11. Valores por defecto utilizados para el cálculo del cambio en suelo de carbono para suelos minerales.

Dato	Valor
Contenido de carbono en suelo*	Bosque (suelo arenoso) = 25 (Mg C/ha)
	Bosque (suelo volcánico) = 130 25 (Mg C/ha)
	Selva (suelo de alta actividad) = 115 25 (Mg C/ha)
	Selva (suelo arenoso) = 7 25 (Mg C/ha)

*Fuente: PICC, 1996d e INE-SEMARNAT, 2000.

5.7. Resultados

5.7.1. Cambios de biomasa de bosques y otros tipos de vegetación leñosa

En esta categoría se analizan las emisiones o absorciones de carbono y dióxido de carbono debidas a los cambios en la biomasa en bosques de coníferas, bosques de coníferas y latifoliadas, selva baja caducifolia y selva con vegetación secundaria. Para el resto de los tipos de vegetación (bosques nativos con manejo, plantaciones forestales, plantaciones de reforestación, etcétera) no existe información, por lo que sus emisiones no se han estimado en este Inventario.

La absorción neta de CO₂ se contabiliza a partir del incremento anual de biomasa de plantaciones forestales y bosques naturales talados o aprovechados; se considera, además, el crecimiento de árboles en las zonas urbanas y otros tipos de vegetación leñosa por la acción del hombre. Las emisiones de CO₂ generadas en esta categoría son estimadas a partir de la madera que se utiliza como leña y en otros usos como la cosecha comercial. Si en el cálculo de la remoción neta de carbono el valor es positivo, entonces se considera como captura de CO₂, y si la cifra es negativa, se considera como emisión. La absorción o emisión neta de carbono se expresa en términos de Gg de CO₂.

De acuerdo con los datos que se tienen para el estado de Morelos, el área de bosques de coníferas para el año 2005 fue de 42,028.52 ha, de bosque de coníferas y latifoliadas de 12,104.18 ha, de selva baja caducifolia 149,179.22 ha y de selva con vegetación secundaria de 42,963.50 ha. Para el 2009, el bosque de coníferas había perdido el 26.69% del área existente en 2005. Una situación alarmante se observó con la selva baja caducifolia ya que se registró una conversión del 97.26% de su área registrada en el año 2005, lo cual se ve reflejado en el incremento del área de SBC con vegetación secundaria. En contraste, el bosque de coníferas y latifoliadas y

la selva con vegetación secundaria aumentaron en un 92.72% y 158%, respectivamente (Cuadro 5.8).

La cantidad de CO₂ emitido debido a los cambios en la biomasa en bosques y otros tipos de vegetación durante los años de 2005, 2007 y 2009 fue de 223.84, 199.86 y 196.15 Gg, respectivamente.

5.7.2. Conversión de bosques y praderas

En este apartado se calculan las emisiones provenientes de la quema de biomasa *in situ*, la quema de biomasa que ocurre fuera del bosque y del decaimiento de la biomasa. La estimación del carbono liberado por la quema de biomasa *in situ*, fuera del bosque y por decaimiento de la misma se presentan en el cuadro 5.12.

Cuadro 5.12. Cantidad de carbono liberado por diferentes actividades relacionadas con la categoría de USCUSyS en el estado de Morelos.

Carbono liberado por	Carbono (kilotoneladas)		
	2005	2007	2009
Quema de biomasa <i>in situ</i>	0.04	0.02	0.03
Quema de biomasa fuera del bosque	4.56	2.26	2.25
Decaimiento de la biomasa	12.94	9.26	9.56
Total	17.54	11.54	11.84

Fuente: Elaboración propia a partir de la información obtenida de las hojas de cálculo del programa CMNUCC. Los datos se muestran en kilotoneladas para mejor análisis de los mismos.

Con los resultados anteriores se calcularon las emisiones de CO₂ generadas por la conversión de bosques y praderas en las hojas de cálculo del programa CMNUCC. Además del CO₂, también se consideraron las emisiones de otros gases como CH₄ y CO (Cuadro 5.13).

Cuadro 5.13. Emisiones de GEI generados por la conversión de bosques y praderas.

Gas emitido	Emisiones (Gg)		
	2005	2007	2009
CO ₂	64.27	42.29	43.43
CH ₄	0.00	0.01	0.00
CO	0.0	0.28	0.01

Fuente: Elaboración propia a partir de la información obtenida de las hojas de cálculo del programa CMNUCC.

5.7.2.1. Otros gases generados por la quema de biomasa *in situ*

La quema de biomasa *in situ* es una fuente importante de gases distintos al CO₂, como el CH₄, el CO, el N₂O y el NO_x. En el cuadro 5.14, se muestran las cantidades estimadas que se liberan de los gases antes mencionados.

Cuadro 5.14. Emisiones de gases distintos al CO₂ que provienen de la quema de biomasa *in situ*.

Gas	Cantidad emitida (Ton)		
	2005	2007	2009
CH ₄	0.56	9.33	0.57
N ₂ O	0.00	0.00	0.00
CO	4.92	282.33	5.05
NO _x	0.14	0.16	0.14

Fuente: Elaboración propia a partir de la información obtenida de las hojas de cálculo del programa CMNUCC. Los datos se muestran en toneladas para mejor análisis de los mismos.

5.8. Captura por abandono de tierras

El carbono también puede acumularse en las tierras que han sido abandonadas y en donde la vegetación ha vuelto a crecer. Debido a que las tasas de regeneración disminuyen con el tiempo, se consideran las tierras abandonadas durante los veinte años previos al año base 2005 en que se realiza el inventario.

Con la información recabada para el estado de Morelos, acerca de la acumulación de biomasa en las tierras abandonadas, se estimó la absorción anual de carbono en la biomasa aérea en las tierras abandonadas. De manera general, se observó una captación anual de carbono muy parecida durante los tres años evaluados en el inventario. En el 2005, se captaron 0.47 kilotoneladas de carbono por la biomasa aérea, en tanto que para los años 2007 y 2009, la captación fue de 0.64 kilotoneladas. Este valor de captación de carbono permitió estimar la cantidad total de CO₂ que se removió en las tierras abandonadas durante los años 2005, 2007 y 2009, y a partir de ese dato se obtuvo el valor total de CO₂ capturado, el cual fue de -3.41, -4.68 y -4.68 Gg de CO₂, respectivamente (Figura 5.1).

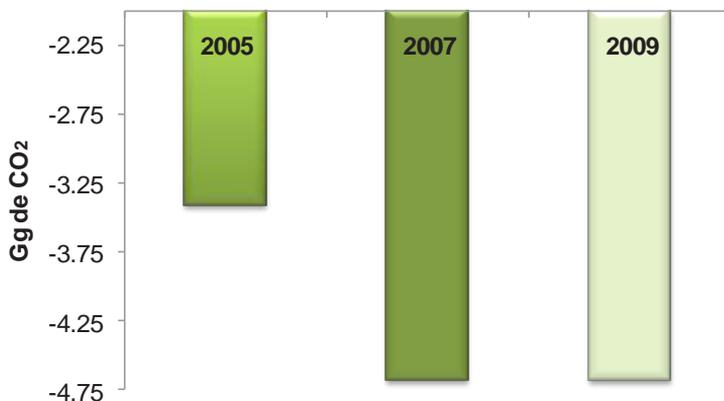


Figura 5.1. Captura total de CO₂ en Gg, proveniente del abandono de las tierras en el estado de Morelos durante los años 2005, 2007 y 2009.

Es importante mencionar que en el estado de Morelos no se reporta el uso intensivo de suelos orgánicos y por lo tanto las emisiones procedentes de esta actividad no se consideran en el reporte. De manera semejante, las emisiones que provienen del abonado con cal de los suelos agrícolas no se estiman en este reporte, en virtud de que, en México, los suelos que se someten a la práctica de encalado se circunscriben a los suelos ácidos con clima cálido húmedo para el cultivo de piña (*Ananas sativa* Merr), frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) y maíz (*Zea mays* L.), ubicados principalmente en los estados de Chiapas, Veracruz, Tabasco y Oaxaca, y en menor proporción Jalisco, Colima y Michoacán (INE-SEMARNAT, 2006). Para el caso del estado de Morelos no existen reportes acerca del uso de la técnica agrícola de aplicación de calizas y dolomitas.

5.9. Emisiones y remociones de CO₂ del suelo

En este apartado se estiman las emisiones netas de CO₂ provenientes de tres procesos: 1) los cambios en el carbono almacenado en los suelos y la cubierta muerta de los suelos minerales debido a cambios en las prácticas del uso de las tierras; 2) las emisiones de CO₂ procedentes de suelos orgánicos convertidos a la agricultura o plantaciones forestales; y 3) las emisiones de CO₂ que proceden del abonado con cal de los suelos agrícolas.

Las emisiones que provienen de los suelos minerales están basadas en la contabilización de los cambios en las existencias de carbono en los suelos, las cuales dependen de los cambios en el uso de la tierra y las prácticas agrícolas asociadas.

Dentro de cada tipo de vegetación, el PICC ha establecido cuatro diferentes sistemas de manejo de suelos: Vegetación, Pastizal, Agrícola y Otros. Cada sistema de manejo edáfico incluye seis grandes grupos de suelos: Muy activos (Vertisol, Luvisol, Phaeozem, Chernozem), Poco activos (Acrisol, Nitosol, Ferralsol), Arenosos (Arenosol, Regosol), Volcánicos (Andosol), Pantanosos (Gleysol) y Otros. Sin embargo, no todos estos tipos de unidades edáficas se encuentran reportados en el estado de Morelos (INEGI-Gobierno del Estado de Morelos, 2010; Boyás *et al.*, 2001; Aguilar, 2006a y 1990).

Para estimar los cambios ocurridos en las existencias de carbono, se utiliza un período de inventario de veinte años. En el estado de Morelos, no se dispone de información acerca de los sistemas del uso de la tierra y el tipo de unidad edafológica respectiva, ni para los últimos veinte años ni para los años del período que se evalúa en el presente inventario.

La información utilizada para los cálculos del período 2005-2009 es la de la superficie de bosque y selva en los años 1986 y 2005. Estos datos sólo permiten estimar las emisiones provenientes del bosque y selva, considerando en el primero los suelos arenosos (Regosoles) y volcánicos (Andosoles), y en el segundo, suelos con alta actividad (Vertisoles) y arenosos (Arenosoles).

En la figura 5.2, se muestran las emisiones y remociones de CO₂ durante los años 2005, 2007 y 2009. Se observa que la mayor emisión de CO₂ ocurrió en el 2005 con 223.84 Gg debido a los cambios en los bosques y otras especies leñosas, mientras que en la conversión de bosques y el cambio de uso de la tierra la emisión fue de 64.27 y 32.08 Gg de CO₂, respectivamente; por el abandono de la tierra se removieron -3.41 Gg de CO₂. En el año 2007, las emisiones de CO₂ fueron de 199.86, 42.29 y 32.08 Gg provenientes de cambios en los bosques, la conversión de bosques y praderas y del cambio en el uso del suelo, respectivamente; y las remociones que provinieron del abandono de tierras fueron de -4.68 Gg de CO₂. Finalmente, en el 2009, las emisiones fueron de 196.15, 43.43 y 32.08 Gg por el cambio en los bosques, el abandono de tierras y el cambio en el uso del suelo, respectivamente; y sólo se removieron -4.68 Gg de CO₂ debido al abandono de tierras.

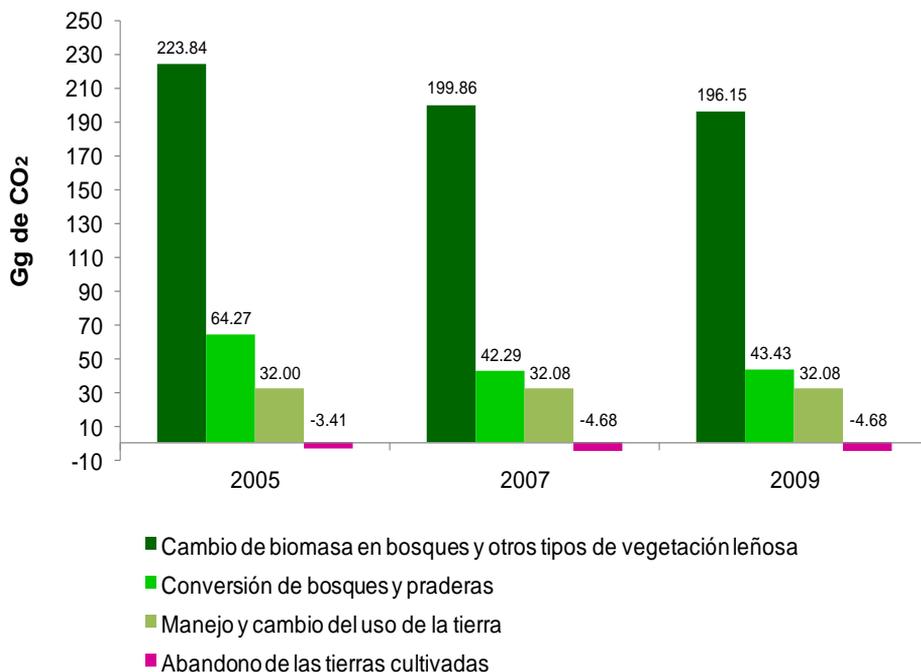


Figura 5.2. Emisión y remoción de CO₂ proveniente de la subcategoría forestal.

5.10. Estimación de emisiones totales en términos de CO₂ eq

Con base en la información de los puntos anteriores, se estimó la cantidad total de emisiones en términos de CO₂ eq, utilizando los valores de potencial de calentamiento global establecidos por el PICC. En el cuadro 5.15 se muestra el resumen de las emisiones generadas por esta categoría. Cabe mencionar que este cálculo sólo puede llevarse a cabo a través de los datos de CO₂ y de CH₄ que se han reportado en este capítulo, aunque no se incluyen los gases CO y NO_x.

Cuadro 5.15. Emisiones en CO₂ eq provenientes de las diferentes subcategorías de USCUSyS.

Subcategoría	Gg (CO ₂ eq)					
	2005		2007		2009	
	CO ₂	CH ₄	CO ₂	CH ₄	CO ₂	CH ₄
Cambios de biomasa de bosques y otros tipos de vegetación leñosa	223.84	-	199.86	-	196.15	-
Conversión de bosques y praderas	64.27	0.01	42.29	0.21	43.43	0.01
Captura por abandono de tierras	32.08	-	32.08	-	32.08	-
	318.19	0.01	274.23	0.21	266.98	0.01
Emisiones Gg de CO₂ eq	320.20		274.44		271.67	
Emisiones y remociones de CO₂ del suelo	-3.41	-	-4.68	-	-4.68	-
TOTAL CO₂ eq	316.79		269.76		266.99	

5.11. Discusión

En resumen, en el estado de Morelos se emitieron un total de 316.79 Gg de CO₂ eq en el año base; dichas emisiones provienen del cambio de biomasa en bosques y otros tipos de vegetación leñosa, la conversión de bosques y praderas, y las emisiones y remociones de CO₂ del suelo. En el año 2009 se emitieron 266.99 Gg de CO₂ provenientes de las mismas actividades, lo que equivale a una disminución del 15.72% en las emisiones.

Si bien el manejo sostenible, la plantación y la rehabilitación de los bosques pueden permitir conservar o aumentar las existencias de carbono forestales, la deforestación, la degradación y la escasa gestión forestal las reducen. En todo el mundo, las existencias de carbono en la biomasa forestal se redujeron en una cantidad estimada de 0.5 Gton de carbono por año durante el período 2005-2010, principalmente debido a una reducción del área mundial de áreas arboladas (FAO, 2010a).

A nivel global el cambio de uso de suelo es una de las mayores amenazas a la biodiversidad, ya que involucran no sólo la pérdida de cobertura vegetal sino también la disrupción de los ecosistemas naturales en fragmentos de diversos tamaños, lo que lleva a la discontinuidad y aislamiento de su biodiversidad. Estos cambios son el resultado de actividades humanas tales como el desarrollo de vías

de comunicación y la expansión urbana, agrícola, ganadera, minera y turística. (Arriaga, 2009).

El uso del suelo está inherentemente ligado a la sustentabilidad del uso de los recursos naturales. La forma e intensidad en que se modifica la cubierta vegetal determina la persistencia de los ecosistemas y, por ende, de los recursos y servicios que éstos proporcionan. Es fundamental, por tanto, entender en detalle los procesos de cambio de uso de suelo y sus efectos (SEMARNAT, 2005).

El ritmo de cambio de uso de suelo hacia cubiertas no forestales, trae aparejado tanto emisiones considerables de carbono, producto de la combustión y descomposición de la biomasa vegetal removida de los bosques, así como la pérdida de carbono orgánico de los suelos. Así mismo, 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 (de Jong *et al.*, 2010).

La conversión de terrenos hacia usos agropecuarios es una de las causas más importantes de deforestación en América Latina y el mundo (FAO, 2010a). En las últimas décadas, la práctica de cultivo de roza, tumba y quema (agricultura nómada o itinerante) es una de las principales causas en el incremento de la vegetación perturbada en el país, y, en muchos casos, son los mismos agricultores quienes impiden que la vegetación se recupere.

Por otro lado, el proceso de urbanización ha adquirido un impulso importante en algunas regiones del estado y, por lo común, se desarrolla en tierras aptas para la agricultura, con la consecuente pérdida de su productividad. Además, los nuevos asentamientos humanos generan afectaciones indirectas a grandes extensiones de tierras, de donde se extraen los recursos para satisfacer sus demandas básicas de agua, energía, transporte, alimentación, recolección y tratamiento de residuos.

A nivel nacional, las selvas han sido los ecosistemas terrestres que, a través de la historia, han sufrido las mayores afectaciones por las actividades humanas, tanto en la extensión que ha sido eliminada para dedicarla a otros usos del suelo, en la proporción que ésta representa de su probable extensión original, como en la extensión de la perturbación que han experimentado (SEMARNAT, 2005).

La FAO (2010a) reporta que México presentó una pérdida anual de 235 mil hectáreas de bosques y selvas en el período 2000-2005, mientras que para el período 2005-2010 fue del orden de 155 mil hectáreas anuales. Morelos, es uno de los estados donde, a pesar de que el 87% de su extensión territorial presenta características con una clara vocación hacia el uso forestal (Aguilar, 2006b; Boyás

1992), menos del 35% de su superficie está cubierta por vegetación natural y más del 60% de su cobertura vegetal es secundaria (SEMARNAT, 2005).

La información relacionada con la categoría USCUSyS en el estado de Morelos ha permitido estimar las emisiones de CO₂. Los resultados muestran que en el año base 2005, la emisión de CO₂ eq fue de 316.79 Gg, una cantidad mucho mayor que las remociones de CO₂ que fueron de -3.41 Gg. Esto destaca la importancia de los cambios que han ocurrido en los bosques, entre los que se encuentran la deforestación y el progresivo avance de la mancha urbana en las zonas boscosas de la región norte del estado.

El proceso de deforestación y degradación de los bosques por efecto de las actividades humanas ha resultado en un ritmo acelerado de cambio del uso de suelo, tanto en cubiertas no forestales, combustión y descomposición de la biomasa vegetal removida, como en la pérdida de carbono orgánico de los suelos; la suma de esto ha provocado que la categoría USCUSyS se constituya como una de las principales fuentes de emisión de GEI en México (INE-SEMARNAT, 2006, Maserá *et al.*, 1997).

A nivel nacional, la contribución de CO₂ eq de la categoría USCUSyS fue de 70,202.80 Gg (9.9%), en el año 2006. A pesar de la reducción sustancial de las tasas de cambio de uso de suelo observado en el período de 2003 a 2006, dicha categoría sigue siendo una de las principales fuentes de emisión de CO₂ en el país (INE-SEMARNAT, 2009).

A pesar de lo observado, es posible revertir esta situación a través de la implementación de políticas forestales apropiadas y la aplicación de técnicas silvícolas que optimicen la producción de los bosques, en virtud de que se considera que los bosques templados mexicanos son menos productivos que los de Estados Unidos y Canadá (INE-SEMARNAT, 2006).

5.12. Conclusiones

- Los cambios en la vegetación leñosa del estado de Morelos, muestran un proceso de pérdida de biomasa vegetal resultante de las talas de bosques y selvas que supera su capacidad productiva. Esta situación genera un balance negativo de captura de carbono, ya que en el año base se emitieron 223.84 Gg de CO₂, mientras que en el 2009 se registró una emisión de 196.15 Gg de CO₂ eq, lo que representa una disminución del 12.37%.
- El proceso de conversión de bosques y praderas resultó en la pérdida de biomasa vegetal. La emisión de dióxido de carbono a la atmósfera implicó una disminución en las emisiones del 34.42%, ya que para el año base 2005

ésta fue de 64.28 Gg de CO₂ eq, mientras que para el 2009 fue de 43.44 Gg de CO₂ eq.

- El resultado de la estimación de la absorción total de carbono de las áreas de vegetación abandonadas que se regeneran hacia áreas forestales, no fue posible obtenerlo en virtud de la ausencia de los datos estatales respectivos.
- Las emisiones de CO₂ del suelo, son consecuencia del cambio en su uso. En esta categoría la magnitud de las emisiones en el año base 2005 y en 2009 no se modificaron —se mantuvieron en 32.08 Gg de CO₂—, en tanto que las remociones fueron de -3.41 y -4.68 Gg de CO₂ eq en el año base 2005 y en 2009, respectivamente. El análisis del balance muestra que las emisiones superan a las capturas; al igual que los suelos de la República, los suelos estatales serían emisores netos de carbono.



RESIDUOS

Capítulo 6

CAPÍTULO 6 RESIDUOS

6.1. Introducción

El incremento de la población, el cambio en los hábitos de consumo y las actividades humanas en general han desarrollado una relación persona-ambiente condicionada a un nivel de bienestar con base en una potente industrialización, además de que el desplazamiento de gran parte de la población hacia las ciudades genera una forma de apropiación del ambiente desgastante e inconsciente con respecto al uso racional de los recursos. La alteración en la relación sociedad-naturaleza se da a partir de tres factores importantes: demografía, densidad de población e industrialización, los cuales producen múltiples mecanismos que dificultan el proceso de recuperación del equilibrio ambiental (Elías, 2009).

Los problemas ambientales aparecen como consecuencia del uso indiscriminado de los recursos naturales y procesos ineficientes de producción, entre otras razones. En México, como en otros países, el desarrollo económico, la industrialización y la implantación de modelos económicos que conllevan al aumento del consumo, han impactado significativamente en el volumen y la composición de los residuos producidos, tanto urbanos como industriales, lo que provocó que se agravaran los problemas ambientales como la contaminación del aire, del agua y del suelo a lo largo del territorio, impactando directa o indirectamente la salud de la población y de los ecosistemas naturales (INE-SEMARNAT, 2009).

En este contexto surge el concepto de “residuo” que, de acuerdo con la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR, 2003), se define como aquel material o producto cuyo propietario o poseedor desecha y que se encuentra en estado sólido o semisólido, o es un líquido o gas contenido en recipientes o depósitos, y que puede ser susceptible de ser valorizado o requiere sujetarse a tratamiento o disposición final conforme a lo dispuesto en esta Ley y demás ordenamientos que de ella deriven. La Ley clasifica a los residuos en Residuos Sólidos Urbanos (RSU), Residuos de Manejo Especial (RME) y Residuos Peligrosos (RP). En este capítulo se abordará principalmente a los RSU.

Los RSU son principalmente los residuos domésticos; se encuentran generalmente en estado sólido y mezclados con residuos comerciales, aunque en algunos casos pueden estar en estado semisólido (Bustos, 2009). Aye y Widjaya (2006) clasifican los residuos sólidos en dos grandes grupos de acuerdo a su composición: orgánicos e inorgánicos. Los residuos orgánicos incluyen la materia que puede sufrir putrefacción, algunos ejemplos son papel, cartón, caucho y madera. Los residuos inorgánicos comprenden plásticos, vidrio, metal y otros, que generalmente pueden ser valorizables.

El manejo de los RSU en el estado de Morelos consiste en una recolección cuya responsabilidad recae en los diferentes Ayuntamientos. Normalmente, la recolección no se realiza de manera diferenciada y los residuos mezclados (basura), son transportados a disposición final. De manera general se puede mencionar que la disposición final de los RSU se realiza en rellenos sanitarios ubicados en Cuautla, en Yecapixtla (Región Nor-Oriente) y en Mazatepec (Región Poniente); en 22 tiraderos a cielo abierto y en un sitio controlado (Municipio de Emiliano Zapata) (CEAMA, 2007).

Por otro lado, para la cuantificación de las emisiones de GEI se deben incluir diferentes aspectos de las aguas residuales. La Ley de Aguas Nacionales define a las aguas residuales como aquéllas de composición variada provenientes de descargas de usos públicos, urbanos, doméstico, industrial, comercial, servicios, agrícola, pecuario, de las plantas de tratamiento y, en general de cualquier uso, así como la mezcla de ellas (Diario Oficial de la Federación, última reforma publicada el 08 junio de 2012); se clasifican en tres rubros de acuerdo a su uso: municipales, industriales y agrícolas, y su tratamiento es diferencial de acuerdo a las características del tipo de agua residual que se va a tratar (Romero-Aguilar *et al.*, 2009).

En el caso de las aguas residuales industriales, el desarrollo de métodos e infraestructura para su procesamiento ha tenido un impulso sin precedentes en la última década, duplicándose el número de plantas de tratamiento; sin embargo, la eficiencia de dichas plantas aún no es la deseada, de tal manera que en México se trata aproximadamente el 21% de las aguas residuales municipales y alrededor del 15% de las aguas residuales industriales.

En este capítulo se reportan las emisiones de CH₄ y N₂O provenientes de residuos sólidos urbanos, de aguas residuales municipales e industriales y del excremento humano en el estado de Morelos para los años 2005, 2007 y 2009. Para esto, se empleó la metodología sugerida por el PICC (1996a). En la estimación de datos de la categoría de Residuos se consideran las subcategorías que se observan en el cuadro 6.1.

Cuadro 6.1. Subcategorías incluidas en la categoría Residuos.

Subcategoría	Incluye
Disposición de residuos sólidos en el suelo	Disposición de residuos sólidos en rellenos sanitarios. Residuos sólidos dispuestos en tiraderos.
Manejo y tratamiento de aguas residuales	Aguas residuales industriales. Aguas residuales domésticas y municipales.
Incineración de residuos	Incineración abierta de desechos.

6.2. Metodología

Para la realización del inventario de GEI correspondiente a la categoría de Residuos se utilizó el módulo 6 del software gratuito (PICC, 1996c) dispuesto por la CMNUCC, en donde, a partir de la información recabada, se realizaron las estimaciones correspondientes. Los ocho archivos que conforman este programa (CMNUCC_NAI_IS_132.zip) se pueden descargar directamente de la dirección electrónica http://unfccc.int/national_reports/nonannex_i_natcom/training_material/methodological_documents/items/349.php.⁶

De acuerdo a las Directrices del PICC (1996a), los datos reportados en los Inventarios se clasifican de acuerdo al nivel de detalle con que se estiman. Actualmente, la información con la que se cuenta en el estado de Morelos permite utilizar la metodología en un Nivel 1 (Tier 1).

6.2.1. Fuentes de información

Para el cálculo de las emisiones de GEI se requirieron datos de actividad obtenidos de diferentes fuentes, mismas que se muestran en el cuadro 6.2. Cuando se menciona a la fuente como “comunicación personal”, significa que la fuente reportó los datos directamente a través de un medio oficial (carta).

6.2.2. Factores de corrección

Para el caso de los RSU, se utilizó la información tomada por defecto de las tablas 6-2 y 6-3 del Libro de trabajo (PICC, 1996d), sección Residuos, y los datos utilizados se muestran en el cuadro 6.3. Para las aguas residuales se tomó de las tablas 6-5, 6-6 (promedio de productos químicos orgánicos) y 6-7 del mismo Libro y misma sección (Cuadro 6.3).

6.2.3. Datos de actividad

Los datos que el software de la CMNUCC requiere para el cálculo de la emisión de GEI provenientes de los RSU, se refieren a la cantidad de residuos disponibles en rellenos sanitarios o en tiraderos, con profundidad mayor o igual a cinco metros y son: generación total de RSU, proporción que se envía a tiraderos o rellenos sanitarios y la población beneficiada con respecto a la total. Para el caso de las aguas residuales se utilizaron los siguientes datos: la cantidad de aguas residuales municipales e industriales generadas, así como la fracción de dichas aguas que fueron tratadas por sistemas de depuración aerobios o anaerobios.

⁶ Debido a las actualizaciones frecuentes de los programas y páginas electrónicas, los nombres de los archivos y sus ubicaciones pueden variar, en ese caso se recomienda hacer una búsqueda con los términos “UNFCCC software for GHG inventories” (Ordoñez et al., 2009).

Cuadro 6.2. Fuentes de información para el cálculo de las emisiones GEI en la categoría Residuos.

Dato obtenido	Institución de procedencia	Fuente de información
Población cuyos residuos se van a los vertederos	SEMARNAT-CONAGUA	El ambiente en números, 2010. http://www.semarnat.gob.mx/informacionambiental/Documents/SNIARN/pdf/el_ambiente_numero_2010.pdf
Tasa de generación de Residuos Sólidos Urbanos	CEAMA	Comunicación personal
Población de Morelos	INEGI	II Censo de Población y Vivienda 2005 (INEGI, 2005b).
Aguas residuales municipales e industriales	SEMARNAT-CONAGUA	La situación del subsector agua potable, alcantarillado y saneamiento, 2006 y 2010. Estadísticas de Agua, 2006, 2008 y 2010. http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/DSAPAS%202010.pdf
	CONAGUA-Organismo de Cuenca Balsas	Comunicación personal
Consumo de proteína per cápita	Martínez y Villezca, 2005	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. Ciencia UANL. VIII (2): 196-208.
	FAO, 2010b	Country Profile: Food security Indicators. Country México. Roma. 5 pp.
Total de Residuos Sólidos Urbanos	Sistema Nacional de Información Ambiental y de Recursos Naturales (SNIARN-SEMARNAT)	http://dgeiawf.semarnat.gob.mx:8080/ibi_apps/WFServlet?IBIF_ex=D3_RSM01_04&IBIC_user=dgeia_mce&IBIC_pass=dgeia_mce . 2010.

Cuadro 6.3. Valores empleados para la estimación de las emisiones de residuos sólidos municipales.

Tipo de residuos	Factores de corrección*	
RSU	Factor de corrección de metano	0.8
	Fracción de Carbono Orgánico Degradable (COD)	0.16
	Fracción de carbono liberado como metano	0.5
Aguas residuales	Componente Orgánico Degradable (COD)	14,600 (kg DBO/1000 personas/año)
	Componente Orgánico Degradable (COD)	30 (kg DQO/m ³ de agua residual)
	Factor de conversión de metano para el sistema de tratamiento	0.8 (aerobio y anaerobio)**
	Fracción de nitrógeno en proteínas	0.16

*Fuente: Libro de trabajo PICC (1996d). **Fuente: En el Manual de Referencia (PICC, 1996b) dentro de la categoría de Residuos, se sugiere que este valor sea consultado con los expertos, en este caso, el valor de 0.8 fue recomendado por la Dra. Xóchitl Cruz (Centro de Ciencias de la Atmósfera-UNAM).

En el cuadro 6.4 se muestra la generación de RSU, la población beneficiada con el servicio de recolección (SEMARNAT, 2010) y la población total (INEGI, 2005b) en el estado de Morelos para los años 2005, 2007 y 2009. Cabe mencionar que la población total para los años 2007 y 2009 se estimó considerando la tasa anual de crecimiento de la población, con respecto a la población total reportada en el Censo de Población y Vivienda del año 2005.

Cuadro 6.4. Datos reportados de RSU para los años 2005, 2007 y 2009.

Año	Generación total de RSU (Ton)*	Población beneficiada por la recolección de RSU (Hab)*	Población total (Hab)
2005	538,000.00	1,381,024	1,612,899§
2007	538,000.00	1,401,194	1,678,060
2009	558,000.00	1,425,069	1,745,853

*Fuente: Base de datos Sistema Nacional de Información Ambiental y de Recursos Naturales (SNIARN). § Fuente: INEGI 2005b.

Para el cálculo de las emisiones de GEI provenientes de las aguas residuales, la información requerida se refiere a los volúmenes de aguas residuales generadas, su carga contaminante medida como kg de DBO₅ o DQO por m³ de agua residual, el tipo y la eficiencia de las tecnologías que se emplean para su tratamiento y

disposición (INE-IIE, 2008). Otro dato importante fue el consumo de proteína por parte de la población, pues genera emisiones indirectas de N₂O a través de los excrementos humanos.

En el cuadro 6.5 se muestra el caudal de aguas que es enviado a sistemas de tratamiento, así como las fracciones de cobertura en las plantas de tratamiento de aguas municipales e industriales para los años 2005, 2007 y 2009 en el estado de Morelos. La fracción que se muestra en el cuadro, multiplicada por 100, representa el porcentaje de aguas tratadas con respecto al total generado. Como puede observarse en el cuadro 6.5, entre los años 2005 y 2009 el caudal de aguas residuales municipales tratado se incrementó al igual que el porcentaje.

Cuadro 6.5. Fracción de cobertura en las plantas de tratamiento de aguas residuales municipales e industriales para los años 2005, 2007 y 2009.

Año	Caudal tratado de aguas municipales (L/seg)	Fracción de aguas municipales tratadas*	Caudal tratado de aguas industriales (L/seg)	Fracción de aguas industriales tratadas §
2005	1076.0	0.191	2160.0	0.151
2007	1059.0	0.165	2720.0	0.157
2009	1366.0	0.204	763.3	0.193

*Fuente: La situación del subsector agua potable, alcantarillado y saneamiento (<http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/DSAPAS%202010.pdf>); §Tomado de Estadísticas del agua en México (CONAGUA-SEMARNAT, 2006, 2008 y 2011).

Para el caso de las aguas residuales industriales, en el estado de Morelos para el 2005 existían 68 plantas de tratamiento con una capacidad instalada de 2260 L/seg. y con un caudal tratado de 2160 L/seg, que corresponde al 15.12% del caudal total generado. Para el 2009 se reportaron 81 plantas de tratamiento con una capacidad instalada de 1224.1 L/seg. y con un caudal tratado de 763 L/seg., que cubrió el 19.3% con respecto al total de aguas generadas. Cabe mencionar que los datos oficiales para este tipo de aguas residuales reportan una disminución de las aguas tratadas para el 2009 a 763 L/seg, lo que equivale a una disminución de aproximadamente el 65% de las aguas tratadas. Sin duda, se trata de un error en la medición de las aguas residuales industriales, lo que se verá reflejado en las emisiones de Gases de Efecto Invernadero.

6.2.4. Incineración de residuos peligrosos y hospitalarios

Los residuos peligrosos son aquellos que cuentan con al menos una de las siguientes características: corrosivo, reactivo, explosivo, tóxico, inflamable o

biológico infeccioso; representan un riesgo significativo para la salud o el ambiente, ya sea por sus características o el manejo al que son o van a ser sometidos (LGPGIR, 2003). Entre este tipo de residuos se encuentran los residuos hospitalarios, los cuales se disponen, principalmente, con el tratamiento de menor costo que es la incineración, en comparación con los tratamientos biológicos o químicos (Tangri, 2005).

En esta categoría se requiere del cálculo de GEI que se emiten por la incineración de residuos peligrosos y hospitalarios, y para ello, se requiere información acerca de la cantidad de residuos que son incinerados, de la tecnología que emplean (hornos rotatorios o lechos fluidizados), del tipo de residuo (municipales, hospitalarios, peligrosos o lodos residuales), y del contenido total de carbón y carbón fósil de los residuos (INE-SEMARNAT, 2006). Sin embargo, en el estado de Morelos no hay información disponible acerca de la incineración de este tipo de residuos, debido principalmente a que las empresas, instituciones y hospitales, entre otros generadores, no proporcionaron la información, además de que en la entidad no existen incineradores operando, por lo que normalmente se contratan empresas que transportan este tipo de residuos a otros estados de la República.

6.3. Resultados

Las emisiones de GEI de la categoría de Residuos se muestran en el cuadro 6.6 para los años 2005, 2007 y 2009.

Cuadro 6.6. Emisiones de los GEI provenientes de la categoría Residuos en el estado de Morelos para los años 2005, 2007 y 2009.

Subcategoría	Emisión (Gg)					
	2005		2007		2009	
	CH ₄	N ₂ O	CH ₄	N ₂ O	CH ₄	N ₂ O
Depósitos de residuos sólidos	35.35	-	35.35	-	36.66	-
Aguas residuales municipales (domesticas/comerciales)	0.95	-	0.86	-	1.09	-
Aguas residuales industriales	61.71	-	80.80	-	45.55	-
Excremento humano	-	0.12	-	0.14	-	0.15
Total	98.01	0.12	117.01	0.14	83.30	0.15

Las emisiones de CH₄ disminuyeron un 15% en el año 2009 en comparación con el año base 2005, debido a una reducción en el caudal tratado de aguas residuales industriales. Las emisiones de N₂O indirectas provenientes de los excrementos

humanos incrementaron un 25% en los mismos años, debido a que se registró un mayor consumo de proteína *per capita* y al aumento de la población.

En el cuadro 6.7 se muestran las emisiones de CO₂ eq de la categoría de Residuos. La mayor cantidad de CO₂ eq proviene del metano que se genera durante el tratamiento de aguas residuales; en el año 2007 se presentó un incremento del 19.38% y una disminución del 33.16% en el año 2009, con respecto al año base 2005. De acuerdo a la información disponible en el cuadro 6.7, se consideran dos fuentes clave: la utilización de depósitos de residuos sólidos y el tratamiento de aguas residuales.

Cuadro 6.7. Emisiones de GEI en CO₂ eq en la categoría de Residuos en el estado de Morelos en los años 2005, 2007 y 2009.

Subcategoría	CO ₂ eq (Gg)					
	2005		2007		2009	
Gas	CH ₄	N ₂ O	CH ₄	N ₂ O	CH ₄	N ₂ O
Depósitos de RSU	742.35	-	742.35	-	769.95	-
Tratamiento de aguas residuales (municipales e industriales)	1,315.89	38.36	1,714.87	44.10	958.52	45.89
	2,058.24	38.36	2,457.22	44.10	1,728.47	45.89
Total CO₂ eq (Gg)	2,096.60		2,501.32		1,774.36	

En la figura 6.1 se muestra la aportación porcentual de CO₂ eq de las emisiones provenientes del sistema de tratamiento de aguas residuales, lo que corresponde al 64.59%, seguido por las emisiones de los depósitos de residuos sólidos que corresponden al 35.41% en la categoría de Residuos para el 2005.

La comparación de las emisiones generadas en la categoría de Residuos en Morelos en el año base 2005 con las emisiones generadas en la misma categoría pero del Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero-Cuarta Comunicación Nacional en el mismo año, muestra que la contribución del estado de Morelos en la categoría de Residuos es del 2.27%.

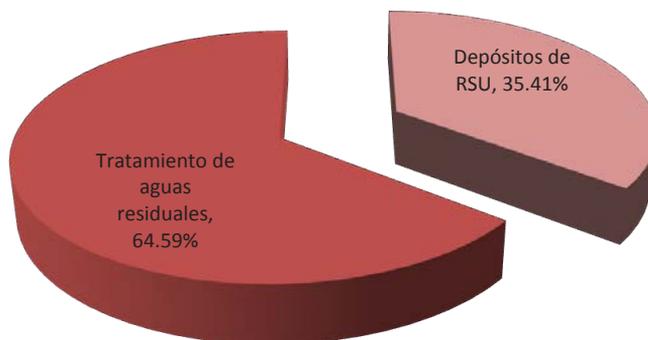


Figura 6.1. Aportación porcentual de los GEI en la categoría de Residuos.

6.4. Discusión

En este capítulo se informa acerca de los GEI que se emiten por la disposición de residuos sólidos al suelo y por el tratamiento de aguas industriales. Se estimaron las emisiones de CH_4 , que son producto de la descomposición anaeróbica de la materia orgánica contenida en los residuos. Las emisiones de CH_4 transformadas en términos de CO_2 eq aumentaron un 3.71% al pasar de 742.35 Gg en el año 2005 a 769.95 Gg en el año 2009. Este aumento es resultado del incremento en la disposición de residuos sólidos en sitios de disposición final, generados por un incremento en la población de la entidad. La raíz del problema radica principalmente en la desmedida generación de estos residuos por la sociedad, ya que nuestra forma de vida consumista, promueve la explotación irracional de los recursos naturales y la producción de artículos que satisfagan nuestras necesidades. Actualmente, las emisiones de CH_4 se encuentran sin tratamiento y recuperación, por consecuencia, son emitidas a la atmósfera, por lo que se recomienda promover las medidas necesarias para la recuperación y aprovechamiento de estas emisiones como medida de mitigación.

De las subcategorías de manejo de los RSU y del tratamiento de aguas residuales, la emisión de CH_4 y N_2O transformados en CO_2 eq, disminuyeron un 72.84% al pasar de 2,096.60 Gg de CO_2 eq, en el año base 2005 a 1,774.36 en el año 2009. Esto se debe a la reducción del caudal tratado (m^3/s) de las aguas residuales de tipo industrial con un valor de 2.16 m^3/s a 0.73 m^3/s . Las emisiones estimadas de CH_4 se producen principalmente por la degradación de los compuestos orgánicos en condiciones anaeróbicas y, en algunas ocasiones, por los procesos aerobios deficientes, el N_2O , y por las bacterias presentes en algunos procesos de tratamiento de agua, en donde éstas consumen el nitrógeno.

Por último, las emisiones resultantes en la subcategoría de incineración de residuos no fueron estimadas en el caso del CO₂ y N₂O, por no existir valores locales. Se requiere el control por parte de las autoridades respectivas y la información de cuantificación del contenido de estas emisiones, debido a que la contribución de estos gases al Inventario puede tener impactos a nivel local.

Las principales emisiones de CO₂ eq en 2005 provinieron del sistema de tratamiento de aguas residuales y depósitos de residuos sólidos, con el 64.59% y 35.41% respectivamente. Esta tendencia se mantuvo en general para los tres años. En comparación con las emisiones nacionales de la categoría de Residuos, se estima que el estado de Morelos aportó el 2.27% de CO₂ eq en el año 2005. A partir de la estimación de los GEI que provienen de la categoría de Residuos en el estado de Morelos se propondrán medidas para mitigar la cantidad de emisiones estatales generadas.

6.5. Conclusiones

- En Morelos y en la categoría de Residuos, los sistemas de tratamiento de aguas residuales y los depósitos de residuos sólidos generan prácticamente el total de las emisiones de GEI.
- Los sistemas de tratamiento de aguas residuales contribuyeron con más del 64% de los GEI generados en el estado de Morelos en el año base 2005.
- Las emisiones de la categoría de Residuos, producidas en el estado de Morelos, contribuyen con el 2.27% de las emisiones de GEI a nivel nacional en la misma categoría.
- Finalmente, de acuerdo con la estimación de emisiones de GEI derivadas de la categoría de residuos, se observó para el año 2009 una disminución del 15%, misma que está ampliamente relacionada con la disminución en el caudal tratado de aguas residuales.

**ANÁLISIS COMPARATIVO
DE EMISIONES DE GEI**

Capítulo 7

CAPÍTULO 7

ANÁLISIS COMPARATIVO DE EMISIONES DE GEI ENTRE CATEGORÍAS, FUENTES CLAVE Y CÁLCULO DE INCERTIDUMBRES

7.1. GEI emitidos en el estado de Morelos

En este trabajo se realiza un análisis comparativo entre las emisiones de GEI de las siguientes categorías: Energía, Procesos Industriales, Agricultura, Residuos y Uso de Suelo, Cambio de Uso de Suelo y Silvicultura (USCUSyS), mismas que se han analizado de manera separada en los capítulos anteriores. En este capítulo las emisiones de GEI se analizan de manera comparativa, iniciando por el tipo de gases, haciendo énfasis en el CO₂, el CH₄ y el N₂O.

7.1.1. Emisiones de CO₂

En el cuadro 7.1 se muestran las cantidades de CO₂ emitidas por las diferentes categorías analizadas. Puede observarse que la emisión total de este gas para el año base 2005 fue de 6,348.99 Gg y para el 2007 se incrementó en un 13.63%, debido, principalmente, al aumento en el consumo de combustibles. Sin embargo, debido a que en el año 2009 la producción de caliza disminuyó un 47.04%, la emisión de CO₂ sólo se incrementó en un 6.30% con respecto al año base 2005. Cabe mencionar que en estos resultados se incluyen las emisiones por consumo de energía eléctrica, además de las emisiones de CO₂ que se reportan en el RETC.

Cuadro 7.1. Emisiones de CO₂ en el estado de Morelos.

Categoría	Fuente de emisión	Generación de CO ₂ (Gg)		
		2005	2007	2009
ENERGÍA	Transporte terrestre	2,228.72	2,369.14	2,484.74
	Residencial	387.75	375.44	338.51
	Comercial	85.39	103.89	94.63
	Industrial	54.90	74.30	55.08
	Agrícola	11.93	3.40	3.53
	Transporte aéreo	3.36	12.25	2.90
	Transporte acuático	1.24	1.23	1.23
	Consumo de energía eléctrica	521.75	1,054.77	1,181.58
	Total Energía	3,295.04	3,994.42	4,162.20
PROCESOS INDUSTRIALES	Producción de caliza	1,535.56	1,561.19	813.15
	Producción de cemento	1,132.12	1,259.03	1,242.45
	CO ₂ consultado en el RETC	69.49	266.74	290.82
	Total Procesos industriales	2,737.17	3,086.96	2,346.42
USCUSyS	Cambio de biomasa en bosques y otros tipos de vegetación leñosa	223.84	199.86	196.15
	Conversión de bosques y praderas	64.27	42.29	43.43
	Emisiones y remociones de CO ₂ en el suelo	32.08	32.08	32.08
	Total emisiones USCUSyS	320.19	274.23	271.66
	Captura por abandono de tierras	- 3.41	- 4.68	- 4.68
	Total USCUSyS	316.78	269.55	266.98
Total de emisiones de CO₂		6,348.99	7,350.93	6,775.60

En la figura 7.1 se muestra la aportación porcentual de CO₂ de cada fuente de emisión, destacándose en la categoría de Energía el consumo de combustible para el transporte terrestre y el consumo de energía eléctrica. La producción de cemento y caliza, en la categoría de Procesos Industriales, aportan una cantidad considerable de CO₂ (24.16%).

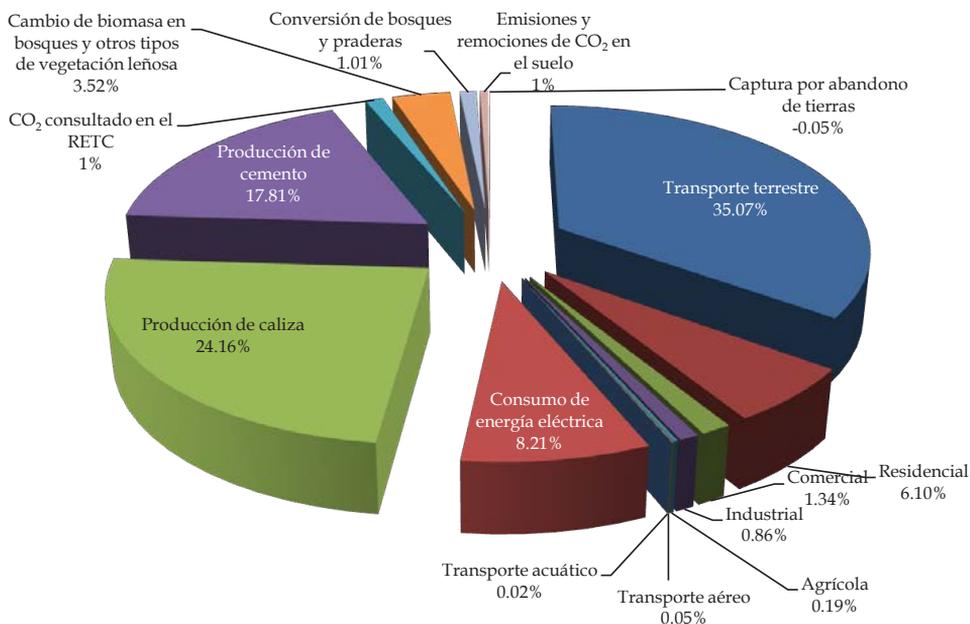


Figura 7.1. Fuentes de emisión de CO₂ en Morelos en el año base 2005.

7.1.2. Emisiones de CH₄

Las fuentes principales emisoras de CH₄ se muestran en el cuadro 7.2. Se observa que tanto el tratamiento de aguas residuales industriales, la disposición de residuos sólidos en rellenos sanitarios o depósitos, así como el consumo de combustibles fósiles para el transporte terrestre, son las fuentes de emisión de mayor importancia. De hecho, en las emisiones provenientes del manejo de RSU y del tratamiento de aguas residuales, las segundas registraron una disminución del 55.03% entre los años 2005 y 2009, especialmente por la disminución del caudal tratado de las aguas residuales industriales.

Cuadro 7.2. Emisiones de CH₄ en el estado de Morelos.

Categoría	Fuente de emisión	CH ₄ (Gg)		
		2005	2007	2009
ENERGÍA	Transporte terrestre	5.16	5.39	5.83
	Residencial	0.06	0.06	0.05
	Comercial	0.01	0.02	0.02
	Total energía	5.23	5.47	5.90
AGRICULTURA	Quema de cultivo de caña de azúcar	0.29	0.31	0.28
	Producción de arroz	0.29	0.21	0.28
	Fermentación entérica	0.01	0.01	0.01
	Total agricultura	0.59	0.53	0.57
USCUSyS	Conversión de bosques y praderas	0.00	0.01	0.00
	Total USCUSyS	0.00	0.01	0.00
RESIDUOS	Tratamiento de aguas residuales industriales	61.71	80.80	27.75
	Tratamiento de aguas residuales municipales	0.95	0.86	1.09
	Disposición de residuos sólidos	35.35	35.35	36.66
	Total residuos	98.01	117.01	65.50
Total emisiones de CH₄		103.83	123.02	71.97

En la figura 7.2 se presentan las aportaciones porcentuales de cada subcategoría a las emisiones de CH₄ en Morelos en los años evaluados. El tratamiento de aguas residuales industriales y municipales contribuye con el 59.43% y 0.91% de las emisiones, en tanto que la disposición de residuos sólidos en suelo contribuye con el 34.05%. Estas tres subcategorías son las principales fuentes de emisión de CH₄.

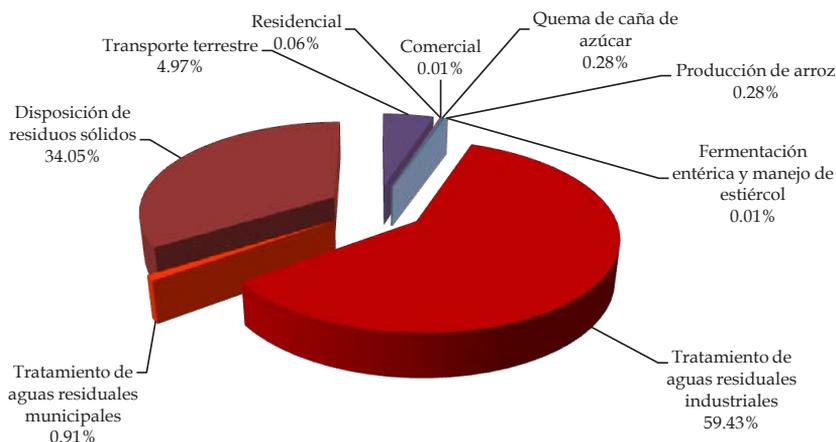


Figura 7.2. Proporción de las fuentes de emisión de CH₄ en el estado para el año base 2005.

7.1.3. Emisiones de N₂O

Las fuentes de emisión principales son el manejo de suelos agrícolas, el tratamiento de aguas residuales municipales, y la quema de residuos agrícolas como la caña de azúcar; en esta última se registró una disminución del 3.32% del 2005 al 2009, debido a un mayor uso de los suelos para otras actividades sin fines agrícolas, como se muestran en el cuadro 7.3.

Se observa que el manejo de suelos agrícolas y el tratamiento de aguas residuales municipales aportan el 8.25% y el 88.17%, respectivamente, de las emisiones de N₂O en Morelos, pero también existen otras fuentes de emisión, aunque su aportación es menor, como se muestra en la figura 7.3.

Cuadro 7.3. Emisiones de N₂O en el estado de Morelos. Nótese que las unidades se reportan en toneladas para una mejor observación y comparación de los datos. Para convertir a Gg dividir entre 1000).

Categoría	Fuente de emisión	Emisión de N ₂ O (Ton)		
		2005	2007	2009
ENERGÍA	Transporte terrestre	18.83	19.94	21.02
	Residencial	3.71	3.59	3.24
	Comercial	0.82	0.99	0.90
	Industrial	0.52	0.71	0.53
	Transporte aéreo	0.09	0.34	0.08
	Agrícola	0.11	0.03	0.03
	Total Energía		24.08	25.60
AGRICULTURA	Suelos agrícolas	1,322.60	1,349.22	1,441.33
	Quema de cultivo de caña de azúcar	9.64	10.22	9.33
	Manejo de estiércol	20.00	20.00	20.00
	Total Agricultura	1,352.24	1,379.44	1,470.66
RESIDUOS	Tratamiento de aguas residuales municipales	123.73	142.27	148.02
	Total Residuos	123.73	142.27	148.02
Total emisiones de N₂O		1,500.05	1,547.31	1,644.48

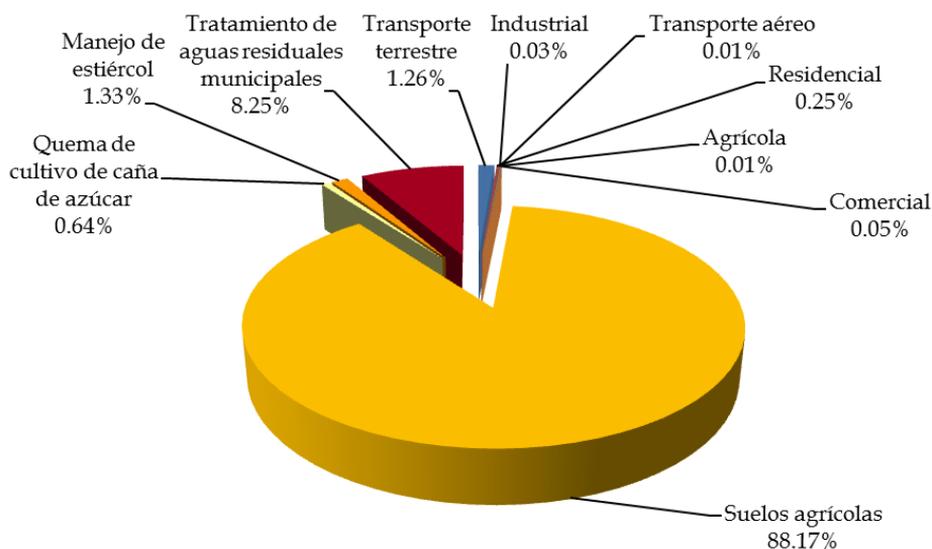


Figura 7.3. Fuentes de emisión de N₂O en el estado de Morelos para el año base 2005. Se señalan las principales categorías emisoras, donde destacan el uso de suelos agrícolas y el manejo de aguas residuales municipales.

7.2. Principales fuentes de emisión de GEI en el estado de Morelos

Para realizar una comparación entre las emisiones de GEI provenientes de todas las categorías, los valores de cada gas fueron convertidos a la unidad de CO₂ eq, lo que facilitó la interpretación de los datos y una correcta comparación entre las fuentes de emisiones. En Morelos, las cinco principales fuentes de emisiones son la combustión proveniente del transporte terrestre (categoría Energía), la producción de cemento y caliza (categoría Procesos Industriales), el manejo de aguas residuales (provenientes principalmente de la industria) y la disposición de residuos sólidos (categoría Residuos). En el cuadro 7.4 se muestra un resumen de las emisiones de CO₂ eq generadas en los años 2005, 2007 y 2009, se incluye a todas las categorías y las fuentes de emisión señaladas; también se puede observar el total de emisiones por cada año evaluado, el total de emisiones por categoría y el gas originado a partir del cual se realizó el cálculo para obtener los datos en CO₂ eq.

Cuadro 7.4. Emisiones totales de CO₂ equivalente en Morelos durante 2005, 2007 y 2009.

Categoría	Fuente de emisión	GAS	Cantidad de CO ₂ eq emitida/capturada (Gg)		
			2005	2007	2009
ENERGÍA	Industrial	CO ₂	54.90	74.30	55.08
		CH ₄	0.04	0.05	0.04
		N ₂ O	0.16	0.22	0.16
	Comercial	CO ₂	85.39	103.89	94.63
		CH ₄	0.29	0.35	0.32
		N ₂ O	0.25	0.31	0.28
	Residencial	CO ₂	387.75	375.44	338.51
		CH ₄	1.30	1.26	1.13
		N ₂ O	1.15	1.11	1.00
	Agrícola	CO ₂	11.93	3.40	3.53
		CH ₄	0.02	0.01	0.01
		N ₂ O	0.04	0.01	0.01
	Transporte terrestre	CO ₂	2,228.72	2,369.14	2,484.74
		CH ₄	106.71	113.24	122.34
		N ₂ O	5.80	6.18	6.51
	Transporte aéreo	CO ₂	3.36	12.25	2.90
		CH ₄	0.00	0.00	0.00
		N ₂ O	0.03	0.11	0.03
	Transporte acuático	CO ₂	1.24	1.23	1.23
	Consumo de energía eléctrica	CO ₂	521.75	1054.77	1181.58
Total Energía			3,410.83	4,117.27	4,294.03
PROCESOS INDUSTRIALES	Producción de cemento	CO ₂	1,132.12	1,259.03	1,242.45
	Producción de caliza	CO ₂	1,535.56	1,561.19	813.15
	CO ₂ por consulta en el RETC	CO ₂	69.49	266.74	290.82
	Total Procesos Industriales y Solventes		2,737.17	3,086.96	2,346.42
AGRICULTURA	Suelos agrícolas	N ₂ O	410.01	418.26	446.81
	Manejo de estiércol	CH ₄	0.01	0.01	0.01
		N ₂ O	6.20	6.20	6.20
	Quema de cultivo de caña de azúcar	CH ₄	6.13	6.50	5.94
		N ₂ O	2.99	3.17	2.89
	Por cultivo de arroz	CH ₄	6.18	4.33	5.96
	Por fermentación entérica	CH ₄	0.15	0.14	0.15
Total Agricultura		431.67	438.61	467.96	
USCUSyS	Cambio de biomasa en bosques y otros tipos de vegetación leñosa	CO ₂	223.84	199.86	196.15
	Conversión de bosques y praderas	CO ₂	64.27	42.29	43.43
		CH ₄	0.01	0.21	0.01
	Emisiones y remociones de CO ₂ del suelo	CO ₂	32.08	32.08	32.08
	Captura por abandono de tierras	CO ₂	- 3.41	- 4.68	- 4.68
Total USCUSyS		316.79	269.76	266.99	
RESIDUOS	Disposición de residuos sólidos	CH ₄	742.35	742.35	769.95
	Tratamiento de aguas residuales	CH ₄	1,315.89	1,714.87	958.52
		N ₂ O	38.36	44.10	45.89
	Total Residuos		2,096.60	2,501.32	1,774.36
BALANCE NETO EMISIONES			8,993.06	10,413.92	9,149.76

7.3. Tendencia de las emisiones de GEI en el estado de Morelos

El análisis de la tendencia de las emisiones de GEI se realiza en términos de CO₂ eq, pero se especifica el gas de donde provienen las emisiones totales. En cuanto al aporte de emisión de CO₂ se ha registrado una variación entre el año 2005 y el 2007, incrementándose un 13.61%; no obstante, para el 2009 se presentó una disminución con respecto al año 2007, pero un incremento del 6.34% con respecto al año base. Esta variación es resultado de un incremento en el consumo de energía eléctrica, acompañado de una menor producción en caliza. La tendencia que se ha observado en los GEI en Morelos durante los años 2005, 2007 y 2009, es que las emisiones de CH₄ y N₂O (en CO₂ eq) también han sufrido variaciones en los años evaluados: el metano muestra una disminución del 16.95%, entre el año 2005 y 2009, mientras que en el N₂O muestra un incremento del 8.78% (Figura 7.4).

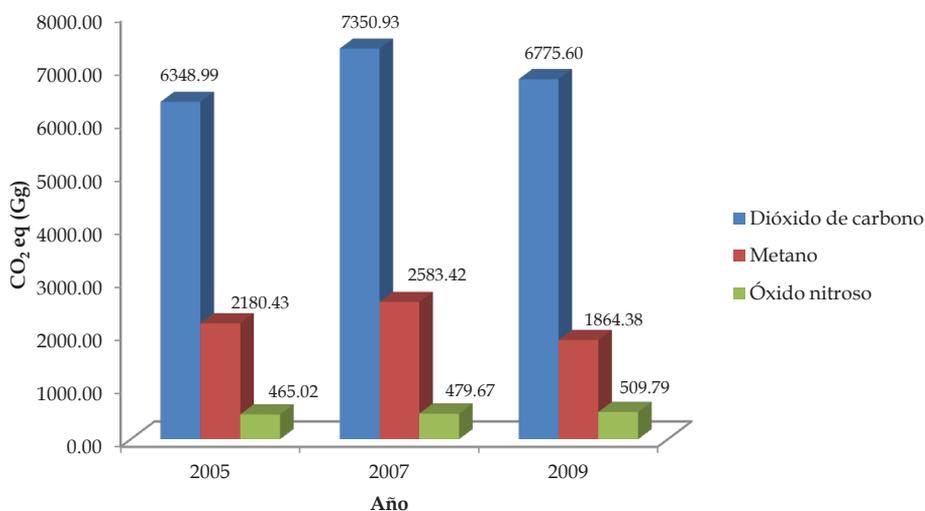


Figura 7.4. Tendencia en las emisiones estatales de GEI durante los años 2005, 2007 y 2009.

Finalmente, en la figura 7.5 se muestra el resumen de emisiones de las cinco categorías evaluadas en el Inventario de GEI del estado de Morelos, así como el total de las mismas. En Energía, Agricultura y Residuos, la tendencia va en aumento, mientras que en Procesos Industriales y USCUSyS, las emisiones disminuyeron durante los años evaluados.

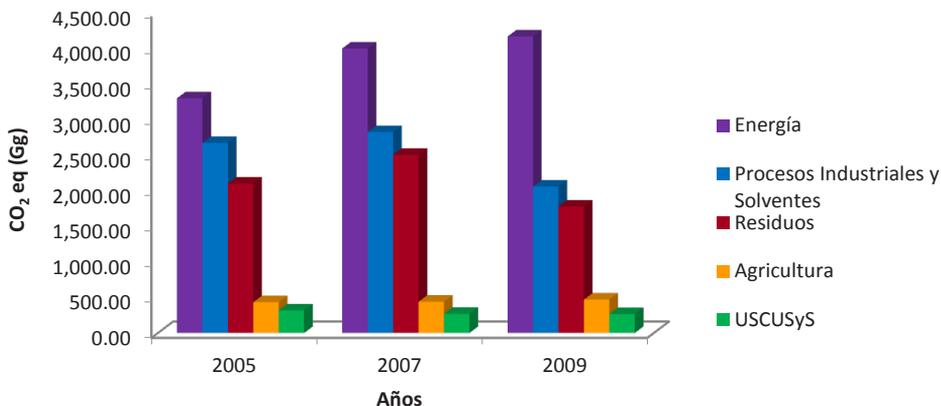


Figura 7.5. Resumen de emisiones de GEI durante 2005, 2007 y 2009 de las categorías evaluadas en el inventario estatal.

En resumen, en el estado de Morelos se emitieron un total de 8,993.06 Gg de CO₂ eq en 2005, mientras que en 2007 y 2009 se emitieron 10,413.92 Gg y 9,149.76 Gg, respectivamente. En el año base 2005, las emisiones de la categoría de Energía, ocupan el primer lugar con el 37.93% de las emisiones totales, las cuales provienen de la quema de combustibles fósiles, que aporta el 26.03%, y otros sectores (comercial, residencial, agrícola) con el 5.39%. La categoría de Procesos Industriales ocupa el segundo lugar en emisiones, con el 30.44% del total del CO₂ eq generado en el año 2005; esta aportación proviene de dos fuentes principales: la producción de cemento y la producción de caliza, con el 12.59% y el 17.07%, respectivamente. La categoría de Residuos aporta el 23.31% del total de emisiones; de este porcentaje el 15.06% corresponde al manejo de aguas residuales y el 8.25% restante a la deposición de residuos sólidos. De las categorías que menos emisiones aportan se encuentra Agricultura, con el 4.80% de las emisiones, de las cuales el 4.56% se origina por el manejo de suelos agrícolas, el 0.10% por la quema de residuos agrícolas, el 0.07% proviene del manejo de estiércol, el 0.07% de la producción de arroz, y el 0.002% restante, se genera por la fermentación entérica.

La categoría de USCUSyS aporta el 3.52% del total de emisiones que se generaron en los años evaluados; de éstas corresponde el 2.49% a los cambios en los bosques y otra biomasa leñosa, el 0.71% a la conversión de bosques y praderas y el 0.36% a las emisiones y remociones de CO₂ del suelo.

En la figura 7.6 se muestran las aportaciones porcentuales de cada categoría al total de emisiones generadas en Morelos.

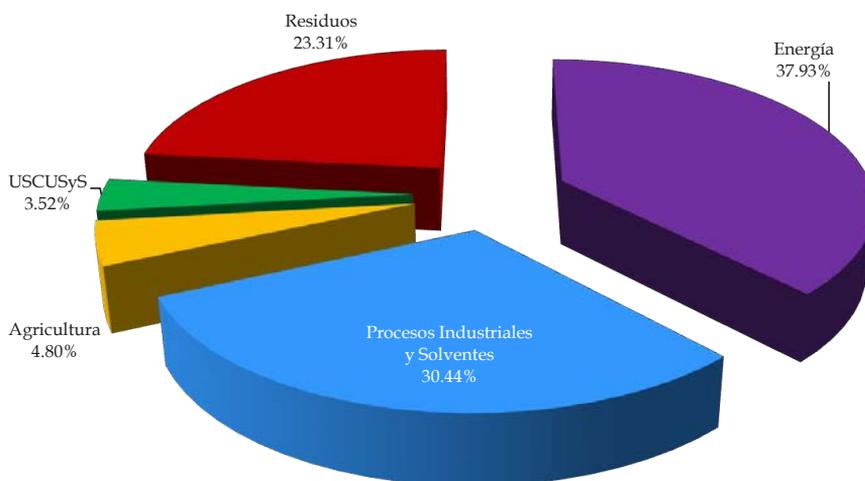


Figura 7.6. Aportación porcentual de emisiones por categoría en 2005.

La principal aportación de este Inventario Estatal, es conocer las fuentes de emisión en Morelos de GEI cuyas cantidades son considerables, de tal manera que se puedan tomar las medidas de mitigación correspondientes y lograr con ello una reducción significativa de emisiones en el futuro.

7.4. Comparación de las emisiones de GEI en Morelos con respecto a las nacionales

El cuadro 7.5 muestra un resumen de la contribución de Gases de Efecto Invernadero de Morelos con respecto al nacional en término de CO₂ eq. Del total de emisiones, Morelos contribuye con el 1.33%. Los datos comparados son del año base 2005, y los datos de generación nacional fueron obtenidos de la Cuarta Comunicación Nacional ante la CMNUCC.

Cuadro 7.5. Contribución de Morelos a las emisiones totales nacionales en el año 2005.

Categoría	Emisiones Nacionales 2005* (Gg CO₂ eq)	Emisiones Estatales 2005 (Gg CO₂ eq)	Contribución estatal con respecto al nacional (%)
Energía	418,972.00	3,410.83	0.81
Procesos Industriales	47,173.00	2,737.17	5.80
Agricultura	45,125.30	431.67	0.96
USCUSyS	70,202.80**	316.79	0.45
Residuos	92,286.40	2,096.6	2.27
TOTAL	673,759.50	8,993.06	1.33

*Fuente: INE-SEMARNAT 2009.**Debido a que no se dispone de la información de las emisiones nacionales para el año 2006, se utilizó la reportada en el año 2006 en la Cuarta Comunicación Nacional ante la CMNUCC 1990-2006 (INE-SEMARNAT 2009).

7.5. Análisis de fuentes clave por Nivel

Las fuentes clave de emisión son las subcategorías responsables de la emisión de más del 95% de Gases de Efecto Invernadero. Los cuadros 7.6 y 7.7 muestran los datos obtenidos de las fuentes clave de emisión. El primero contiene los datos para el 2005, y el segundo para el 2009. Para evaluar el nivel se utilizó la opción que proporciona el programa de la CMNUCC, el cual se basa en la ecuación 7.1 descrita en la Guía de las Buenas Prácticas (PICC; 1996a). En ambos cuadros se observa que las subcategorías, básicamente, son las mismas, pero en orden diferente. Lo anterior, debido a que en el 2005 la producción de caliza era alta con respecto al 2009, lo cual coloca a esta actividad como la segunda actividad generadora de GEI; en cambio, en el último año se coloca en el quinto lugar.

En el año base 2005, son diez las fuentes las que acumulan más del 95% de las emisiones totales, destacando entre ellas, el transporte terrestre, el cual contribuye con el 24.78% del total de emisiones, seguido de la producción de caliza, el manejo de aguas residuales y la producción de cemento (Cuadro 7.6).

En el año 2009, son once las fuentes que en conjunto, acumulan más del 95% de las emisiones generadas en el estado. Nuevamente el transporte terrestre es la categoría que contribuye con el mayor porcentaje a las emisiones, con un 27.16%, seguido de la producción de cemento, el manejo de aguas residuales y la producción de caliza (Cuadro 7.7).

Cuadro 7.6. Fuentes clave de emisión, incluyendo USCUSyS, para el año 2005. Se muestran las subcategorías que en conjunto emiten más del 95% de las emisiones.

Categoría	Subcategoría	GEI	Emisiones (Gg CO ₂ eq) 2005	Estimación del nivel (%)	Total acumulado (%)
Energía	Transporte terrestre	CO ₂	2,228.72	24.78	24.78
Procesos industriales	Producción de caliza	CO ₂	1,535.56	17.07	41.86
Residuos	Manejo de aguas residuales	CH ₄	1,315.89	14.63	56.49
Procesos industriales	Producción de cemento	CO ₂	1,132.12	12.59	69.08
Residuos	Disposición de residuos sólidos	CH ₄	742.35	8.25	77.33
Energía	Consumo de energía eléctrica	CO ₂	521.75	5.80	83.14
Agricultura	Suelos agrícolas	N ₂ O	410.01	4.56	87.69
Energía	Residencial	CO ₂	387.75	4.31	92.01
USCUSyS	Cambio en la biomasa de bosques y otros tipos de vegetación leñosa	CO ₂	223.84	2.49	94.49
Energía	Transporte terrestre	CH ₄	106.71	1.19	95.68

Cuadro 7.7. Fuentes clave de emisión, incluyendo USCUSyS para el año 2009. Se muestran las subcategorías que en conjunto emiten más del 95% de las emisiones.

Categoría	Subcategoría	GEI	Emisiones (Gg CO ₂ eq) 2009	Estimación del nivel (%)	Total acumulado (%)
Energía	Transporte terrestre	CO ₂	2,484.74	27.16	27.16
Procesos industriales	Producción de cemento	CO ₂	1,242.45	13.58	40.74
Energía	Consumo electricidad	CO ₂	1,181.58	12.91	53.65
Residuos	Manejo de aguas residuales	CH ₄	958.52	10.48	64.13
Procesos industriales	Producción de caliza	CO ₂	813.15	8.89	73.01
Residuos	Disposición de residuos sólidos	CH ₄	769.95	8.41	81.43
Agricultura	Suelos agrícolas	N ₂ O	446.81	4.88	86.31
Energía	Residencial	CO ₂	338.51	3.70	90.01
Procesos industriales	CO ₂ por consulta en el RETC	CO ₂	290.82	3.18	93.19
Energía	Transporte terrestre	CH ₄	122.34	1.34	94.53
USCUSyS	Cambio en la biomasa de bosques y otros tipos de vegetación leñosa	CO ₂	196.15	2.14	95.33

7.6. Análisis de fuentes clave por tendencia

En la evaluación de la tendencia se determina la contribución general de las emisiones al Inventario. Esta evaluación permite identificar las fuentes que tienen una tendencia diferente de la tendencia general del Inventario. El análisis de tendencia se refiere a cuánto se desvía cada fuente de emisión del aumento o disminución del Inventario en general. 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. Para evaluar la tendencia se utilizó la ecuación 7.2 descrita en la Guía de las Buenas Prácticas (PICC, 1996a).

En el cuadro 7.8 se muestran las categorías principales de fuente en el estado de Morelos; de acuerdo a la Guía de las Buenas Prácticas (PICC, 1996a), éstas se definen como las categorías que, sumadas en orden descendiente de magnitud, conforman más del 95% del total acumulado. Para el año 2009, se identifican once categorías principales de fuentes, de las cuales se observa que la producción de caliza y el manejo de aguas residuales son las subcategorías en donde hay una mayor disminución en la tendencia, mientras que el transporte terrestre y el consumo de energía eléctrica son las categorías con mayor crecimiento en tendencia (Cuadro 7.8). En estas dos últimas subcategorías deben centrarse los esfuerzos de las autoridades competentes para tratar de disminuir sus emisiones.

Cuadro 7.8. Análisis de fuentes clave por tendencia, incluyendo USCUSyS. Se muestran las categorías principales de las fuentes.

Categoría	Subcategoría	GEI	Emisiones (Gg de CO ₂ eq 2005)	Emisiones (Gg de CO ₂ eq 2009)	Evaluación de la tendencia	% de contribución a la tendencia	Total acumulado
Energía	Transporte terrestre	CO ₂	2,228.72	2,484.74	0.028↑	11.37%	11.37%
Procesos Industriales y Solventes	Producción de caliza	CO ₂	1,535.56	813.15	0.096↓	39.23%	50.60%
Residuos	Manejo de aguas residuales	CH ₄	1,315.89	958.52	0.049↓	19.91%	70.51%
Procesos Industriales y Solventes	Producción de cemento	CO ₂	1,132.12	1,242.45	0.012↑	4.74%	75.26%
Residuos	Disposición de residuos sólidos	CH ₄	742.35	769.95	0.002↑	0.77%	76.02%
Energía	Consumo de energía	CO ₂	521.75	1,181.58	0.024↑	9.76%	85.79%
Energía	Residencial	CO ₂	387.75	338.51	0.007↓	2.93%	88.72%
Procesos Industriales y Solventes	Industrial (CO ₂ por consulta en RETC)	CO ₂	69.49	290.82	0.012↑	4.85%	93.57%
Agricultura	Suelos agrícolas	N ₂ O	410.01	446.81	0.004↑	1.55%	95.12%
Energía	Transporte terrestre	CH ₄	106.71	122.34	0.002↑	0.72%	95.84%
Energía	Comercial	CO ₂	85.39	94.63	0.001↑	0.41%	96.25%

En el comportamiento general de los resultados de emisiones de GEI, existen variaciones entre los años 2007 y 2009 con respecto al año base. En el año 2007 se registra un incremento del 15.81% de las emisiones totales, ya que los datos de actividad también mostraron esta tendencia; sin embargo, para el año 2009, se registró un incremento de emisiones de sólo el 1.74%, con respecto al 2005. Estas variaciones se deben a que, mientras las emisiones que provienen de procesos industriales (de acuerdo con los datos del RETC) y del consumo de energía eléctrica se incrementan, las emisiones por producción de caliza y del tratamiento de aguas residuales industriales disminuyen.

Para el caso de la producción de caliza, debido a la crisis económica generalizada, se registró una disminución de obras en la industria de la construcción y por consecuencia, en la demanda de este material. Además, se observó un fenómeno por el cual los espacios que en años anteriores a este estudio eran utilizados para la extracción de calizas, actualmente están siendo destinados para la construcción de unidades habitacionales.

El caso de la disminución de las emisiones de GEI por el tratamiento de aguas residuales, es el resultado de una situación que requiere especial atención, ya que la aparente falta de funcionamiento o inexistencia de un número considerable de plantas de tratamiento de aguas residuales en Morelos causó una reducción dramática del caudal de agua tratado en el año 2009; esta es la principal explicación para la disminución en las emisiones de dicha subcategoría. Es por ello que se vuelve imprescindible la disponibilidad de información confiable y certera, así como la unificación de los datos reportados por las fuentes institucionales.

7.7. Generación *per capita* de GEI en el estado de Morelos

El cuadro 7.9 muestra los datos de generación de GEI *per capita* y se comparan con los mismos datos a nivel nacional. La comparación incluye por emisiones totales y por categorías evaluadas. En los tres años, Morelos se encuentra por debajo de las emisiones *per capita* de CO₂ equivalente nacionales y tiende a bajar la generación hacia el 2009, considerando la disminución de producción de caliza y la disminución en el tratamiento de aguas residuales industriales. En congruencia con los resultados generales del Inventario, cada habitante del estado de Morelos emite Gases de Efecto Invernadero en mayor proporción por el consumo de energía (uso de combustibles fósiles en el transporte terrestre, uso de energía eléctrica), seguido de algunos procesos industriales y por el tratamiento de aguas residuales.

Cuadro 7.9. Comparación de emisiones per cápita total y por categorías del estado de Morelos contra los valores nacionales.

Categoría	Emisiones per cápita de CO ₂ equivalente (toneladas)			
	Nacional* (2005)	Estatal		
		2005	2007	2009
Por emisiones totales	6.84	5.58	6.21	5.24
Energía	4.14	2.11	2.45	2.46
Procesos Industriales	0.61	1.70	1.84	1.34
Agricultura	0.44	0.27	0.26	0.27
USCUSyS	0.67	0.20	0.16	0.15
Residuos	0.96	1.30	1.49	1.02

*Fuente: Elaboración propia con información del Inventario Nacional de Emisiones de GEI 1990-2006, informado en la Cuarta Comunicación Nacional ante la CMNUCC (INE-SEMARNAT 2009).

7.8. Estimación de la incertidumbre

Para calcular la incertidumbre por sector de cada una de las categorías evaluadas en el Inventario de emisiones de GEI de Morelos, se utilizaron las recomendaciones descritas por el PICC, en su manual sobre la Orientación de las Buenas Prácticas y la Gestión de la Incertidumbre en los Inventarios Nacionales de GEI.

Se estimaron dos tipos de incertidumbre: la primera, asociada con la aplicación de los factores de emisión y la segunda, asociada con la procedencia de los datos de cada actividad (e.g., cabezas de ganado, consumo de combustible, superficies de cultivo de arroz, tipos y número de rellenos sanitarios, entre otros). De tal manera que se estima la incertidumbre para cada categoría y se determina la incertidumbre total del Inventario. Los valores de incertidumbre presentados en el cuadro 7.10, son un resumen que contemplan las subcategorías para los cuales fue posible estimar de manera individual un valor de incertidumbre, ya sea para el dato de actividad y/o para el factor de emisión.

Se estima que el Inventario de Gases de Efecto Invernadero del Estado de Morelos tiene una incertidumbre combinada global del 11.03% y de 9.06% en la tendencia de las emisiones.

Cuadro 7.10. Incertidumbres estimadas en las diferentes Categorías en el Inventario de GEI del Estado de Morelos.

Categoría	Emisiones año base 2005 (Gg eq. CO₂)	Emisiones año 2009 (Gg eq. CO₂)	Incertidumbre combinada (%) del total de emisiones estatales en 2009	Incertidumbre introducida en la tendencia en las emisiones estatales en 2009
Energía	3,410.83	4,294.03	20.27	18.64
Procesos Industriales	2,737.17	2,346.42	18.80	10.78
Agricultura	431.67	467.96	29.98	29.29
Residuos	2,096.60	1,774.36	19.61	16.72
USCUSyS	316.79	266.89	19.25	14.02
Total estimado	8,993.06	9,149.76	11.03*	9.06*

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

Todas las subcategorías poseen un 20% de incertidumbre en los factores de emisión, en algunos casos, y dependiendo del origen de la información, ésta puede reducirse hasta el 15%. Este último se consideró únicamente cuando los datos de actividad procedían directamente de la institución correspondiente. En Energía, la combustión móvil (transporte terrestre, aéreo y acuático), es la subcategoría con mayor aporte a la incertidumbre, seguida del consumo de energía eléctrica; en Procesos Industriales, es la producción de caliza y cemento, en Agricultura, el manejo de suelos, y finalmente en Residuos, las emisiones provenientes del manejo de aguas residuales (industriales y municipales).

La subcategoría de USCUSyS que tiene mayor aportación en la incertidumbre es la de cambios de biomasa de bosques y otros tipos de vegetación leñosa, derivado principalmente de la ausencia de estimaciones precisas por tipo de cobertura vegetal y sus cambios a otros usos. Es importante mencionar que para el estado de Morelos se dispone de poca información acerca de las superficies de los diferentes tipos de vegetación, por lo que se toma como base la información publicada por el INEGI a escala 1:250,000 y algunos estudios de caso, se hicieron estimaciones puntuales, lo que influye en el aumento de la incertidumbre.

El análisis de incertidumbre permite hacer algunas consideraciones:

- Es necesario estimar los valores de factores de emisión estatales, con la finalidad de disminuir la incertidumbre, ya que para el cálculo de las emisiones fue necesario utilizar los factores de emisión por defecto proporcionados por el PICC.

- En casos en donde no se dispone de los datos de actividad para las subcategorías, es necesario obtenerlos a través de mediciones directas, estudios de caso o, bien, a través de las Instituciones competentes *ad hoc*.
- Con la finalidad de disminuir la incertidumbre, es necesario conocer las metodologías empleadas en el registro y procesamiento de datos, su error estándar, período de registro (año) y si está publicada en medios oficiales tales como: anuarios estadísticos, bases de datos en línea, compendios y publicaciones.

REFERENCIAS

- Aguilar B. S. (2006a). Cartas del medio físico, biológico y humano. En: Rueda H.R. (coord.) Atlas de Morelos. Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Editorial Praxis. Cuernavaca, México. pp 169-215.
- Aguilar B. S. (2006b). Naturaleza, formas y estructuras de un paisaje contrastante. En: Delgadillo M.J. (coord.) Contribuciones a la investigación regional en el estado de Morelos. Universidad Nacional Autónoma de México, Centro Regional de Investigaciones Multidisciplinarias. Cuernavaca, México. pp 69-107.
- Aguilar B. S., Sorani V. y Rueda R. (2006). Situación geográfica del estado de Morelos. En: Rueda H.R. (coord.) Atlas Municipal del Estado de Morelos. Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Editorial Praxis. Cuernavaca, México. p. 61.
- Aguilar B.S. (1990). Dimensiones ecológicas del estado de Morelos. CRIM-UNAM. Cuernavaca, México. 221 pp.
- Arriaga L. (2009). Implicaciones del cambio de uso de suelo en la biodiversidad de los matorrales xerófilos: un enfoque multiescalar. *Investigación Ambiental* 1(1): 6-16.
- Avalos G. C. y Palerm V. J. (2003) Competencia por el agua entre usos y usuarios en la cuenca del río Cuautla, Morelos, México. *Comunicaciones en Socioeconomía, Estadística e Informática*. 7 (2): 107-131.
- Ávila S.H. (2002). Aspectos Históricos de la formación de regiones en el estado de Morelos: desde sus orígenes hasta 1930. CRIM-UNAM. Cuernavaca, México. pp. 7-22.
- Aye L. y Widjaya E. (2006). Environmental and economic analyses of waste disposal options for traditional markets in Indonesia. *Waste Management*. 26(10): 1180-1191.
- Baethgen y Martino (2001). Emisiones de gases de efecto invernadero en los sectores agropecuario y forestal de Uruguay y oportunidades en el mercado de carbono. *Arch. Latinoam. Prod. Anim.* 9(2): 127-134.
- Benítez D. H., Vega L. E., Peña J. A. y Ávila F.S. (1998). *Aspectos económicos sobre la biodiversidad de México*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad/Instituto Nacional de Ecología. México, D.F. 204 pp.
- Berra G. y Finster L. (2002). Cadena de la carne vacuna, tecnología para nuevos escenarios. *IDIA* 21(2): 212-115.
- Bonilla J.R. y Villaseñor J.L. (2006) Tipos de vegetación en el estado de Morelos. En: Rueda H.R. (coord.) Atlas Municipal del estado de Morelos. Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Editorial Praxis. México, D.F. 125-158 pp.
- Boyás D. J., Cervantes S. M., Javelly G. J., Linares A.M., Solares A.F., Soto E. R., Naufal T. I. y Sandoval C. L. (2001). Diagnóstico forestal del estado de Morelos. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y

- Alimentación, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Publicación Especial No. 7. 2^{da}. Edición. 180 pp.
- Boyás D. J. (1992) Determinación de la productividad, composición y estructura de las comunidades arbóreas del estado de Morelos en base a unidades ecológicas. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. 269 pp.
- Breña A. F. (2004). Precipitación y recursos hidráulicos en México. Universidad Autónoma Metropolitana. México, D.F. 316 pp.
- Bustos F.C. (2009). La problemática de los desechos sólidos. *Economía*. XXXIV. (27): 121-144.
- Challenger A. y Soberón J. (2008). Los ecosistemas terrestres. En Sarukhan J. (coord.). *Capital natural de México*, vol. I: *Conocimiento actual de la biodiversidad*. CONABIO. México, D.F. pp. 87-108.
- CONAGUA-SEMARNAT (2006). Estadísticas del Agua en México. México, D.F. 198 pp.
- CONAGUA-SEMARNAT (2008). Estadísticas del Agua en México. México, D.F. 228 pp.
- CONAGUA-SEMARNAT (2010). Estadísticas del Agua en México. 10 años de presentar al agua en cifras. México, D.F. 249 pp.
- Contreras-MacBeath E. T. y Urbina T. F. (1995). Historia Natural del Área de protección de flora y fauna silvestre Corredor Biológico Chichinautzin. Centro de Investigaciones Biológicas, UAEM. Cuernavaca, México. 35 pp.
- Contreras-MacBeath E. T., Bonilla B. J.R., Boyás D. J. C., Bustos Z. G., Caspeta M. J. M., Castro F. R., Lozano G. M. A., Martínez T. J. I., Mejía M. H., Ortiz V. A. L., Portugal P. D., Trejo A.R., Trejo L. A. y Urbina T. F. (2006). Capítulo 3. Biodiversidad. En: Contreras-MacBeath T., Boyás J.C., Jaramillo F. (editores). *La Diversidad Biológica en Morelos: Estudio del Estado*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad y Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Cuernavaca, México. pp. 31-58.
- Contreras-MacBeath, T., Ongay-Delhumeau E. y Sorani D V. (2002). Programa Estatal de Ordenamiento Territorial Sustentable de Morelos Fases I, II y III. Incluyendo los subsistemas Natural, Social y Económico. SEDESOL. 600 p.
- de Jong B.H., Maldonado M.V., Rojas G.F., Olguin A.M., de la Cruz A.V., Paz P. F., Jiménez F.G. y Castillo S.M. (2010). Sector Uso del Suelo, Cambio de Uso de Suelo y Silvicultura del Inventario Estatal de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero del estado de Chiapas (Anexo A). Gobierno del estado de Chiapas, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto de Ecología. Tuxtla Gutiérrez, México. 72 pp.
- Delgadillo M. J. (2000). Morelos: indicadores básicos de su desarrollo. En: Delgadillo M.J. (coord.) *Contribuciones a la investigación regional en el estado de Morelos*. UNAM, Centro Regional de Investigaciones Multidisciplinarias. Cuernavaca, México. pp. 19-68.

- Elias X. (2009). Capítulo 1. Generalidades, concepto y origen de los residuos. En: Elias X. (ed.) *Reciclaje de residuos Industriales: Residuos sólidos urbanos y fangos de depuradora*, Editorial Diez de Santos. Madrid, España. 1251 pp.
- Espinosa D. O., Ocegueda S. C., Aguilar C. Z., Flores O. V. y Llorente-Bousquets J. (2008). El conocimiento biogeográfico de las especies y su regionalización natural. En: Sarukhan J. (coord.). *Capital natural de México*, vol. I: *Conocimiento actual de la biodiversidad*. CONABIO, México, D.F. pp. 33-65.
- FAO (2010a). *Global Forest Resources Assessment*. Roma, Italia. 340 pp.
- FAO (2010b). *Country Profile: Food security Indicators*. Country México. Roma, Italia. 5 pp.
- Flores R., Muñoz Ledo R., Flores B.B y Cano K.I. (2008). Estimación de la generación de energía a partir de biomasa para proyectos del programa de mecanismo de desarrollo limpio. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 7: 35-39.
- Flores V.O. y Gerez P. (1994). Biodiversidad y conservación en México, vertebrados, vegetación y uso del suelo. CONABIO-UNAM. México, D.F. 439 pp.
- García L.T. (2009). La política mexicana de acción climática y su aplicación al estado de Veracruz. *Revista de Investigaciones Políticas y Sociológicas*. 8 (2): 153-167.
- García R. J., Molina A. F. I., Díaz V. M. y Quiroz C. H. (2010). Componentes fitoplanctónicos y zoobentónicos en el lago Zempoala, Morelos, México. *Acta Universitaria*. 20(2): 23-30.
- García-Rodríguez. J., Molina-Astudillo. F. I., Quiroz C. H. y Trejoi A. R. (2003). Especies del fitoplancton presentes en el lago Tonatiahua, Morelos, México. *Acta Universitaria*. 13(2): 53-66.
- Gobierno del Estado de México (2009). *Iniciativa ante el Cambio Climático en el Estado de México*. Secretaría de Medio Ambiente. Tlalnepantla, México. 128 pp.
- Gobierno del Estado de Morelos (1989). *Historia mínima de Morelos*. INEA, México, D.F. pp. 81-82.
- Gutiérrez-Miceli F. Arias-Castro C. Dendooven L. Méndez-Salas M., Rodríguez-Mendiola M. Ochoa-Alejo N. y Bello-Pérez L. (2002). Regulación enzimática de la acumulación de sacarosa en plantas de caña de azúcar (*Saccharum spp*). *Agrociencia*. 36(4): 411-419.
- INEGI (2005a) *Conjunto Nacional de Uso del Suelo y Vegetación a escala 1:250,000 Serie III, DGG-INEGI*, México, D.F.
- INEGI (1996) *Conjunto Nacional de Uso del Suelo y Vegetación a escala 1:250,000 Serie II, DGG-INEGI*, México, D.F.
- INEGI (2005b). Segundo conteo de población y vivienda 2005. <http://www.inegi.org.mx/sistemas/TabuladosBasicos/Default.aspx?c=10398&s=est> consultado en marzo 2011.

- INEGI (2011a). Censo de Población y Vivienda (2010). Panorama sociodemográfico de México. Aguascalientes, México. 104 pp
- INEGI (2011b). Perspectiva estadística Morelos. Aguascalientes, México. 90 pp.
- INEGI (2012). Sistema de cuentas nacionales de México. <http://www.inegi.org.mx/sistemas/bie/?idserPadre=10200070> consultado en abril 2012.
- INEGI-Gobierno de Morelos (2006) Anuario estadístico. Morelos. Aguascalientes, México.
- INEGI-Gobierno de Morelos (2008) Anuario estadístico. Morelos. Aguascalientes, México.
- INEGI-Gobierno de Morelos (2010) Anuario estadístico, Morelos. Aguascalientes, México.
- INE-II (2008). Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero 2006, Informe final, parte 2: Procesos industriales y uso de productos. México, D.F. 150 pp.
- INE-III (2008). Actualización del Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero 1990-2006 en la categoría de desechos". Parte 1. Desechos. México. 7/1-7/137.
- INE-Instituto de Ingeniería UNAM (2010). Guía de metodologías y medidas de mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero para la elaboración de Programas Estatales de Acción ante el Cambio Climático. México, D.F. 232 pp. http://www.ine.gob.mx/descargas/cclimatico/2010_guia_metodologias_peacc.pdf.
- INE-SEMARNAT (2000) Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero 1994-1998. México, D.F. 461 pp.
- INE-SEMARNAT (2001) Segunda Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. México, D.F. 376 pp.
- INE-SEMARNAT (2006) Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero 1990-2002. México, D.F. 310 pp.
- INE-SEMARNAT (2009). México. Cuarta Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. México, D.F. 274 pp.
- Jaimes-Palomera L. R., Cortes-Silva A., Vázquez-Sánchez E., Aravena R., Fritz P. y Drimmie R. (1989). Geoquímica isotópica del sistema hidrogeológico del valle de Cuernavaca, estado de Morelos, México. *Geof. Int.* 28(2): 219-224.
- Jiménez J. A., Ros R. M. y Cano M. J. (2003). *Didymodon revolutus* (Bryopsida, Pottiaceae), A Species New to the Asian Flora. *The Bryologist* 106(4): 575-577.
- Lambin E.F., Geist H.J., Lepers E. (2003). Dynamics of land-use and land-cover change in tropical regions. *Annu. Rev. Environ. Resour.* 28: 205-241.
- LGPGR (2003). Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 8 de octubre de 2003. Última reforma publicada el 19 de junio de 2007.

- Llorente-Bousquets J. y Ocegueda S. (2008). Estado del conocimiento de la biota. En: Sarukhan J. (coord.). *Capital natural de México*, vol. I: *Conocimiento actual de la biodiversidad*. CONABIO. México, D.F. pp. 283-322.
- Martínez J.I. y Villezca B.P.A. (2005). 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. *Ciencia UANL*. VIII (2): 196-208.
- Martino, DL. (2001). Secuestro de carbono atmosférico: ¿un nuevo ingreso para los agricultores del Cono Sur? En: Díaz R.R. Siembra directa en el Cono Sur. PROCISUR. Montevideo, Uruguay. pp 55-66.
- Mas J.F., Velázquez A. y Couturier S. (2009). La evaluación de los cambios de cobertura/uso del suelo en la República Mexicana. *Investigación Ambiental*. 1 (1): 23-39.
- Masera, O., Ordoñez M.J., y Dirzo R. (1997). Carbon emissions from mexican forests: the current situation and long-term scenarios. *Climatic Change* 35: 265-95.
- Mendoza R. A. (2008). *Ricciocarpus natans* (Marchantiophyta), una hepática acuática en México. *ContactoS* 70. pp. 67-70.
- Molina F. I., Tavira L. A., García J., Quiroz H., Díaz M. y. Trujillo P. (2010). Estudio de las diatomeas fitoplanctónicas en el río Amacuzac, Morelos. Memorias X Congreso Nacional de Microscopía Electrónica. Asociación Mexicana de Microscopía. Morelia, México. 23-27 mayo.
- Ordoñez D.J.A.B. y Hernández T.T. (2006). Obtención de Factores de emisión nacionales en el sector agrícola para disminuir incertidumbre en el inventario nacional de emisiones de gases de efecto invernadero. Instituto Nacional de Ecología. México, D.F. 22 pp.
- Ordóñez J.A.B. y Hernández T.T. (2005). Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero 2005. Parte 4; Sector Agricultura. Instituto Nacional de Ecología. México, D.F. 118 pp.
- Ordóñez JAB., Conde LA., Aviña FL y Cruz X. (2009). Manual de referencia rápida para el desarrollo de inventarios de emisiones de gases de efecto invernadero para los diferentes sectores en México. Versión 1. México, D.F. 24 pp.
- Pérez V. T. (2006). Morelos en el siglo XIX: nacimiento y consolidación de un estado. En: Rueda H.R. (coord.) Atlas Municipal del Estado de Morelos. Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Editorial Praxis. México, D.F. pp. 39-55.
- PICC, Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático. (1996a). Directrices del Panel Intergubernamental de Cambio Climático para los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero, versión revisada en 1996. Instrucciones para realizar el informe del Inventario de Gases de Efecto Invernadero. Volumen 1. Londres.
- PICC, Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático. (1996b). Directrices del Panel Intergubernamental de Cambio Climático para los Inventarios

- Nacionales de Gases de Efecto Invernadero, versión revisada en 1996. Manual de referencia para el Inventario de Gases de Efecto Invernadero. Volumen 3. Londres, Inglaterra.
- PICC, Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático. (1996c). Software for Workbook. <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/software.html>.
- PICC, Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático. (1996d) Directrices del Panel Intergubernamental de Cambio Climático para los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero, versión revisada en 1996. Libro de Trabajo para el Inventario de Gases de Efecto Invernadero. Volumen 2. Londres, Inglaterra.
- PNUD, Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. (2011). Informe Sobre Desarrollo Humano México 2011. México, D.F. 258 pp.
- Quintero N.M. y Moncada A.A. (2008). Contaminación y control de las quemas agrícolas en Imperial, California, y Mexicali, Baja California. *Región y Sociedad*. XX (43): 3-24.
- Romero-Aguilar M., Colín-Cruz A, Sánchez-Salinas E. y Ortiz-Hernández M. L. (2009). Tratamiento de aguas residuales por un sistema piloto de humedales artificiales: evaluación de la remoción de la carga orgánica. *Rev. Int. Contam. Ambient.* 25 (3): 157-167.
- Sarmiento S. S. (1997). Morelos: sociedad, economía, política y cultura. CIMCH-UNAM. México, D.F. p. 14.
- SE. (2010). Panorama Minero del Estado de Morelos. México, D.F. pp. 41.
- SEMARNAT (2005). Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. Compendio de Estadísticas Ambientales. México, D.F. 379 pp.
- SEMARNAT. (2010). El ambiente en números. Selección de estadísticas ambientales para consulta rápida. México, D.F. 60 pp.
- SENER. (2010). Prospectiva del mercado de gas natural 2010-2025. http://www.sener.gob.mx/res/PE_y_DT/pub/perspectiva_gas_natural_2010_2025.pdf Consultado noviembre de 2011.
- SENER-CONUEE. (2009). Metodología para la cuantificación de emisiones de gases de efecto invernadero y de consumos de energéticos evitados para el aprovechamiento sustentable de la energía. México, D.F. 33 pp.
- SIACON-SAGARPA. (2011). Sistema de Información Agropecuaria y de Consulta, programa informático dependiente del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), órgano desconcentrado de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). <http://www.siap.gob.mx> consultado en abril 2011.
- Taboada S. M., Granjeno C. A. y Oliver G. R. (2009). Normales climatológicas (temperatura y precipitación) del estado de Morelos. Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Cuernavaca, México. 258 pp.
- Tangri N. (2005). Incineración de residuos: una tecnología muriendo. Alianza Global para Alternativas a la Incineración, Alianza Global Anti-Incineración. Buenos Aires, Argentina. 113 pp.

- Torres I.E. (2007). The Mineral Industry of Mexico. En: 2005 Minerals Yearbook: Mexico. United Status Geological Survey (USGS). 13.1-13.14.
- Trejo, I y Hernández J. (1996) Identificación de la selva baja caducifolia en el estado de Morelos, México, mediante imágenes de satélite. *Investigaciones geográficas Boletín*, 5: 11-18.
- Valadez C. F., Carmona J. J. y Cantoral U. E. (1996). Algas de ambientes lóticos en el estado de Morelos. *Anales Inst. Biol. Univ. Autón. México, ser. Bot.* 67(2): 227-282.
- Vázquez S. E., Cortes A. Jaimes P. R., Fritz P., y Aravena R. (1989). Hidrogeología isotópica de los valles de Cuautla y Yautepec, México. *Geof. Int.* 28(2): 245-264.
- Vega G.A., López-García J. y Manzo D.L. (2008) Análisis espectral y visual de vegetación y uso del suelo con imágenes Landsat ETM+ con apoyo de fotografías aéreas digitales en el Corredor Biológico Chichinautzin, Morelos, México. *Investigaciones Geográficas.* 67: 59-75.
- Villaruel-Ordaz J.L. y Cifuentes B.J. (2007). Macromicetos de la Cuenca del Río Magdalena y zonas adyacentes, Delegación la Magdalena Contreras, México, D. F. *Revista Mexicana de Micología.* 25: 59-68.
- Villaseñor, J.L. (2004). Los géneros de plantas vasculares de la flora de México. *Bol. Soc. Bot. Méx.* 75 : 105-135.
- Zander H. R. (1978). A Synopsis of Bryoerythrophyllum and Morinia (Pottiaceae) in the New World. *The Bryologist* 81(4): 539-560.

ANEXO I

Cultivos que se produjeron en el estado de Morelos en 2005, 2007 y 2009.

Cereales			2005	2007	2009
Amaranto	<i>Amaranthus Spp.</i>	NF	221.70	307.30	325.00
Trigo grano	<i>Genus triticum</i>	NF	1,158.00	1,959.80	1,149.00
Maíz grano (amarillo)	<i>Zea mays</i>	NF	-	-	3,267.40
Maíz grano (blanco)	<i>Zea mays</i>	NF	84,419.42	79,970.15	69,581.06
Maíz grano de color	<i>Zea mays</i>	NF	-	5,508.00	-
Maíz grano pozolero	<i>Zea mays</i>	NF	-	16,992.00	12,466.20
Arroz palay	<i>Oryza sativa</i>	NF	14,984.00	10,146.30	14,036.00
TOTAL			100,783.12	114,883.55	100,824.66
Especias y medicinales			2005	2007	2009
Albahaca	<i>Ocimum basilicum</i>	NF	48.50	229.80	170.80
Especias y medicinales^s		NF	23.80	58.25	56.50
Jamaica	<i>Hibiscus sabdariffa</i>	NF	-	6.00	-
Manzanilla	<i>Matricaria chamomilla</i>	NF	86.00	224.00	115.00
Té de limón	<i>Cymbopogon Citratus</i>	NF	252.50	194.40	349.50
TOTAL			410.80	712.45	691.80
Forrajes			2005	2007	2009
Alfalfa verde	<i>Medicago sativa</i>	F	10,095.00	7,148.20	10,465.00
Avena forrajera achicalada	<i>Avena sativa</i>	NF	11,775.00	-	-
Avena forrajera verde	<i>Avena sativa</i>	NF	-	12,817.50	14,309.50
Ebo (janamargo o veza)	<i>Vicia sativa</i>	NF	2,735.00	2,280.00	3,224.00
Nopalitos	<i>Opuntia sp.</i>	NF	279,344.00	273,537.00	274,300.00
Pastos		NF	19,473.00	19,039.80	24,364.40
Caña forrajera	<i>Saccharum officinarum</i>	NF	-	-	4,500.00
Sorgo forrajero verde	<i>Sorghum halepense</i>	NF	13,786.00	4,294.00	19.00
Sorgo grano	<i>Sorghum halepense</i>	NF	178,203.90	192,642.90	179,711.50
TOTAL			515,411.90	511,759.40	510,893.40
Frutales			2005	2007	2009

Aguacate (hass y criollo y sin clasificar)	<i>Persea americana</i>	NF	29,206.60	25,389.60	31,442.00
Caimito	<i>Chrisophillum caimito</i>	NF	20.00	56.00	20.00
Carambolo	<i>Averrhoa carambola</i>	NF	224.00	112.00	252.00
Chirimoya	<i>Annona cherimola</i>	NF	210.00	196.00	438.00
Ciruela	<i>Prunus domestica</i>	NF	1,667.30	1,442.00	1,165.00
Coco fruta	<i>Cocos nucifera</i>	NF	12.00	8.00	6.0
Durazno criollo	<i>Prunus persica</i>	NF	-	-	30
Durazno diamante	<i>Prunus persica</i>	NF	16,795.70	13,708.60	13,768.00
Durazno oro	<i>Prunus persica</i>	NF	3,360.00	3,180.00	2,000.00
Durazno sin clasificar	<i>Prunus persica</i>	NF	8,881.00	7,074.00	5,566.00
Fresa	<i>Fregaria vesca</i>	NF	108.20	168.00	21.00
Granada china	<i>Punica granatum</i>	NF	-	-	200.00
Guanábana	<i>Annona muricata</i>	NF	334.00	448.00	608.00
Guayaba	<i>Psidium guajava</i>	NF	138.00	114.20	118.00
Higo negro	<i>Ficus carica</i>	NF	2,838.30	4,551.20	1,892.50
Limón (agrio y persa)	<i>Citrus limonum</i> Risso	NF	2,954.00	3,253.90	3,659.50
Litchi	<i>Litchi chinensis</i>	NF	25.00	34.00	29.00
Mamey	<i>Clusia major</i>	NF	530.00	572.00	483.00
Mandarina	<i>Citrus nobilis</i>	NF	72.00	52.00	82.40
Mango criollo	<i>Mangifera indica</i>	NF	-	-	7,896.50
Mango sin clasificar	<i>Mangifera indica</i>	NF	8,456.00	6,962.20	-
Manzana	<i>Malus domestica</i> Borkh	NF	77.40	76.00	96.00
Maracuyá	<i>Passiflora edulis</i>	NF	12.00	4.00	12.00
Melón	<i>Cucumis melo</i>	NF	114.00	-	40.00
Membrillo	<i>Cydonia oblonga</i>	NF	66.00	77.00	55.00
Nanche	<i>Byrsonima crassifolia</i>	NF	238.70	166.00	193.20
Naranja	<i>Citrus sinensis</i>	NF	2,424.00	-	-
Naranja valencia	<i>Citrus sinensis</i>	NF	-	3,400.00	4,430.00
Nuez	<i>Juglans regia</i>	NF	70.00	75.60	80.50
Pera	<i>Pyrus communis</i>	NF	6,507.80	5,913.00	3,472.00
Papaya maradol	<i>Carica papaya</i>	NF	2,825.00	3,275.00	5,745.00
Pitaya	<i>Hylocereus triangularis</i>	NF	-	28.60	82.50
Plátano	<i>Musa sapientum</i>	NF	207.00	450.00	346.00
Sandía	<i>Citrullus lanatus</i>	NF	1,893.50	3,451.00	1,854.00
Tamarindo	<i>Tamarindus indica</i>	NF	201.00	109.00	83.4.00

Toronja (pomelo)	<i>Citrus aurantium</i>	NF	125.00	60.00	160.00
Uva	<i>Vitis vinifera</i>	NF	-	3.68	4.80
Zapote chico (chico zapote)	<i>Manilkara zapota</i>	NF	400.00	536.00	560.00
Zapote negro	<i>Diospyros digyna</i>	NF	48.00	24.00	48.00
Zarzamora	<i>Rubus fruticosus</i>	NF	54.00	15.00	72.00
TOTAL			91,095.50	84,985.58	87,011.30
Hortalizas			2005	2007	2009
Berenjena	<i>Solanum melongena</i>	NF	361.60	202.00	56.00
Brócoli	<i>Brassica oleracea</i>	NF	-	1.80	-
Calabacita (de invernadero)	<i>Cucurbita pepo</i>	NF	-	90.00	-
Calabacita italiana (zucchini)	<i>Cucurbita pepo</i>	NF	21,632.40	26,933.20	15,848.55
Calabaza	<i>Cucurbita pepo</i>	NF	2,902.50	300.00	-
Cebolla	<i>Allium cepa</i>	NF	96,369.40	76,623.50	61,653.00
Cebollín	<i>Allium schoenoprasum</i>	NF	236.00	670.00	498.00
Chayote	<i>Sechium edule</i>	NF	16.00	7.00	-
Chilacayote	<i>Cucurbita ficifolia</i>	NF	915.00	1,044.00	72.00
Chile verde (invernadero)	<i>Capsicum frutescens</i>	NF	-	0.12	-
Chile verde jalapeño	<i>Capsicum annum</i>	NF	-	46.60	16.00
Chile verde morrón	<i>Capsicum annum</i>	NF	-	120.00	111.80
Chile verde serrano	<i>Capsicum annum var accuminatum</i>	NF	-	449.60	260.00
Chile verde sin clasificar	<i>Capsicum annum var accuminatum</i>	NF	1,194.15	255.60	265.98
Chícharo	<i>Pisum sativum</i>	F	12.50	69.00	-
Cilantro	<i>Coriandrum sativum</i>	NF	451.00	625.50	641.50
Col (repollo)	<i>Brassica oleracea var. capitata</i>	NF	18.00	7.00	-
Ejote	<i>Phaseolus vulgaris</i>	F	31,816.58	28,332.50	17,012.00
Elote	<i>Zea Mays</i>	NF	74,748.50	87,744.00	64,986.00
Epazote	<i>Chenopodium ambrosioides</i>	NF	88.00	-	-
Guaje	<i>Leucaena leucocephala</i>	NF	6,048.40	5,052.40	5,804.00
Haba verde	<i>Vicia faba</i>	F	-	100.00	270.00
Huauzontle	<i>Chenopodium nuttalliae</i>	NF	3.00	-	-
Jícama	<i>Pechyrhizus angulatus</i>	NF	20,124.20	28,742.50	8,854.00
Muzu		NF	-	-	18.00

EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO EN EL ESTADO DE MORELOS

Okra (angu o gombo)	<i>Hibiscus esculentus</i>	NF	1,796.40	3,985.00	836.00
Pepino chino	<i>Trichosanthes kirilowii</i>	NF	23,347.60	29,476.60	16,839.20
Pepino (invernadero)	<i>Cucumis sativus</i>	NF	-	640.00	1,008.00
Pepino sin clasificar	<i>Cucumis sativus</i>	NF	-	248.00	-
Pápalo	<i>Porophyllum ruderola</i>	NF	1,727.58	2,107.40	1,399.00
Romerito	<i>Suaeda torreyana</i>	NF	-	1.20	-
Rábano	<i>Raphanus sativus</i>	NF	246.00	68.08	25.00
Tomate verde	<i>Physalis ixocarpa</i>	NF	30,672.94	29,192.80	34,176.00
Tomate rojo (jitomate) bola	<i>Lycopersicum esculentum</i>	NF	60,515.00	837.50	-
Tomate rojo (jitomate) invernadero	<i>Lycopersicum esculentum</i>	NF	-	8,228.30	14,330.10
Tomate rojo (saladette)	<i>Lycopersicum esculentum</i>	NF	-	57,590.80	52,763.00
Verdolaga	<i>Portulaca oleracea</i>	NF	9,820.00	6,583.80	3,550.00
Zanahoria	<i>Daucus carota</i>	NF	380.00	1,296.00	400.00
TOTAL			385,442.75	397,671.80	301,693.13
Industriales			2005	2007	2009
Agave tequilero					15,630.00
Café cereza	<i>Coffea arabica</i>	NF	433.85	385.40	331.80
Caña azúcar	<i>Saccharum officinarum</i>	NF	1,891,316.50	2,004,745.00	1,830,360.60
Sábila	<i>Aloe vera</i>	NF	4,037.00	5,046.00	4,330.00
TOTAL			1,920,896.35	2,059,271.40	1,850,652.40
Legumbres secas			2005	2007	2009
Frijol peruano	<i>Phaseolus vulgaris</i>	F	-	3,438.63	1,704.48
Frijol sin clasificar	<i>Phaseolus vulgaris</i>	F	4,244.14	-	-
Haba grano	<i>Vicia faba</i>	F	1,336.50	1,174.60	198.20
TOTAL			5,580.64	4,613.23	1,902.68
Oleaginosas			2005	2007	2009
Cacahuete	<i>Arachis hypogea</i>	F	2,591.81	1,955.30	-
Girasol	<i>Helianthus annuus</i>	NF	5.10	4.80	-
TOTAL			2,596.91	1,960.10	-
Ornamentales			2005	2007	2009
Agapando (gruesa)	<i>Agapanthus africanus</i>	NF	2,025.00	4,490.00	7,000.00

ANEXOS

Ave del paraíso (gruesa)	<i>Strelitzia reginae</i>	NF	-	450.00	-
Crisantemo (gruesa)	<i>Chrysanthemum morifolium</i>	NF	79,600.00	103,575.00	54,400
Girasol flor (gruesa)	<i>Helianthus annuus</i>	NF	980.00	700.00	550.00
Gladiola (gruesa)	<i>Gladiolus spp.</i>	NF	940,915.00	1,028,665.00	768,530.00
Nardo (gruesa)	<i>Polygonum tuberosum</i>	NF	148,325.00	261,470.00	155,250.00
Noche Buena (planta)	<i>Euphorbia pulcherrima</i>	NF	4,140,000.00	-	-
Noche buena (invernadero)	<i>Euphorbia pulcherrima</i>	NF	-	4,300,700.00	5,846,000.00
Pasto tapete m²	<i>Stenotaphrum secundatum</i>	NF	80,000.00	358,000.00	1,220,000.00
Polar		NF	88.00	-	-
Polar (gruesa)		NF	-	-	18,600.00
Rosa (gruesa)		NF	601,140.00	537,160.00	819,160.00
Terciopelo	<i>Gynura aurantiaca</i>	NF	64.76	155.00	180.00
Zempoalxochitl	<i>Tagetes erecta</i>	NF	80.10	254.00	260.00
TOTAL			5,993,217.86	6,595,619.00	8,889,930.00

*Fuente: Base de datos SIACON-SAGARPA (2011). §Esta información fue obtenida de la base de datos SIACON-SAGARPA en donde no se especifica el tipo de especias y medicinales, se maneja como un rubro: F = Fijador de N₂, NF = No fijador de N₂.

Emisiones de gases de efecto invernadero
en el estado de Morelos
se terminó de imprimir en el mes de Marzo de 2013,
en los talleres de Dicograf, S.A. de C.V.
Poder Legislativo 304, Cuernavaca, Morelos.
La edición consta de 500 ejemplares
para su composición se utilizó el tipo Book Antiqua.

La Universidad Autónoma del Estado de Morelos coordinó la elaboración del Programa de Acciones ante el Cambio Climático en el Estado de Morelos, a través de un grupo de trabajo creado *ex profeso* que se integró por académicos especializados y estudiantes de biología. A manera de inventario, esta obra presenta los resultados de la primera estimación de la emisión de gases de efecto invernadero. Para su elaboración se cuantificaron las emisiones de bióxido de carbono, metano y óxido nitroso, que se reportan también como CO₂ equivalente, así como las emisiones de algunos compuestos orgánicos volátiles diferentes del metano. Para ello se utilizó la metodología establecida por el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático, en su versión revisada de 1996. El análisis abarca el periodo 2005-2009, si bien el año que sirvió de base para realizar este inventario fue 2005. El documento está organizado en capítulos de la siguiente manera: en el primero se da una descripción básica de datos del medio físico y sociodemográfico de Morelos. Del segundo al sexto capítulo se presentan los resultados obtenidos, respectivamente, en los rubros de energía; procesos industriales; agricultura; uso de suelo, cambio de uso de suelo y silvicultura, y residuos. En el séptimo capítulo se comparan los resultados de las diferentes categorías y se registran de forma integral para dar a conocer las emisiones totales en el estado. Además, se realizan comparaciones con respecto al ámbito nacional, se calcula la emisión *per capita* y se identifican las fuentes clave de emisión, que deben atenderse para establecer las estrategias de mitigación.

