



GOBIERNO DEL
ESTADO DE MÉXICO



GOBIERNO QUE TRABAJA Y LOGRA
enGRANDE

Inventario Estatal de Gases de Efecto Invernadero

2013



Índice

Índice de Figuras	4
Índice de Tablas	6
Lista de acrónimos	8
Lista de compuestos químicos	10
Lista de unidades	11
Glosario	12
Resumen Ejecutivo	21

Sector Energía

Panorama General	33
Metodología	35
Datos de Actividad	37
Balance de energía	39
Fuentes de información	49
Factores de emisión	52
Resultados	58
Discusión de resultados	64
Conclusiones	66

Sector Procesos Industriales

Panorama General	69
Metodología	70
Datos de Actividad	75
Fuentes de información	80
Factores de emisión	81
Resultados	85
Discusión de resultados	90
Conclusiones	92

Sector Agricultura

Panorama General	95
Metodología	96
Datos de Actividad	103
Fuentes de información	109
Factores de emisión	110

Resultados	112
Discusión de resultados	121
Conclusiones	123

Sector Uso de Suelo Cambio de Uso de Suelo y Silvicultura

Panorama General	126
Metodología	128
Datos de Actividad	137
Fuentes de información	146
Factores de emisión	150
Resultados	152
Discusión de resultados	156
Conclusiones	158

Sector Desechos

Panorama General	162
Metodología	164
Datos de Actividad	170
Fuentes de información	171
Factores de emisión	173
Resultados	175
Discusión de resultados	183
Conclusiones	186

Referencias	189
-------------	-----

Anexo 1: Análisis de Incertidumbre	198
------------------------------------	-----

Índice de Figuras

Figura 1. Tendencia de emisiones de GEI por sector.	26
Figura 2. Participación de los sectores en las emisiones de GEI en el año 2010.	27
Figura 3. Estructura de la categoría de energía.	34
Figura 4. Balance energético estatal, 2010.	39
Figura 5. Porcentaje del consumo de combustibles por subsector en el Estado de México, en el 2005 y 2010.	41
Figura 6. Porcentaje del consumo de los combustibles en las industrias de la energía.	42
Figura 7. Porcentaje del consumo de los combustibles en las industrias manufactureras del Estado de México.	43
Figura 8. Porcentaje de consumo de los combustibles en las industrias manufactureras para los años 2005 y 2010 para el Estado de México.	44
Figura 9. Consumo de Combustibles en el subsector residencial en T.J.	45
Figura 10. Porcentaje del consumo de los combustibles en el subsector comercial.	45
Figura 11. Porcentaje del consumo de combustible en el subsector agrícola.	46
Figura 12. Porcentaje de combustibles en el subsector transporte.	47
Figura 13. Porcentaje del consumo de tipos de combustibles en el subsector transporte.	48
Figura 14. Árbol de decisiones para seleccionar el método de estimación de las emisiones de CO ₂ procedentes de fuentes fijas de combustión.	53
Figura 15. Árbol de decisiones para seleccionar los valores caloríficos de las emisiones de carbono.	54
Figura 16. Árbol de decisiones para seleccionar el método de estimación de las emisiones de gases distintos del CO ₂ procedentes de fuentes fijas de combustión.	56
Figura 17. Árbol de decisiones aplicable a las emisiones de CO ₂ procedentes de vehículos de carretera.	57
Figura 18. Árbol de decisiones aplicable a las emisiones de CH ₄ y N ₂ O de los vehículos de carretera.	57
Figura 19. Árbol de decisiones sobre los datos de actividad de las aeronaves.	58
Figura 20. Porcentaje de GEI para los años 2005 y 2010.	59
Figura 21. Emisiones anuales en Gg de CO ₂ equivalentes por subsector para los años 2005 y 2010.	60
Figura 22. Porcentaje de emisión por tipo de subsector para los años 2005 y 2010.	61
Figura 23. Porcentaje de emisiones de GEI del año 2005 por subsector.	62
Figura 24. Porcentaje de emisiones de GEI del año 2010 por subsector.	63
Figura 25. Árbol de decisión para estimar las emisiones de CO ₂ procedentes de la producción de cemento.	71
Figura 26. Árbol de decisión para la producción de cal.	72
Figura 27. Árbol de decisión para la producción de hierro y acero.	73
Figura 28. Árbol de decisión para la producción de aluminio.	74
Figura 29. Árbol de decisión para la producción de magnesio.	74
Figura 30. Árbol de decisión para las emisiones de N ₂ O procedentes de la producción de ácido adípico y ácido nítrico.	75
Figura 31. Procesos Industriales para el Estado de México.	85
Figura 32. Emisiones de CO ₂ derivadas de las subcategorías productos minerales e industria metálica, para los años 2005 y 2008.	86
Figura 33. Emisiones de gases precursores de ozono y perfluorocarbonos por fuentes de emisión de procesos industriales.	87
Figura 34. Emisiones por subcategoría de gases precursores y perfluorocarbonos derivados de procesos industriales.	88
Figura 35. Resumen de emisiones de Gg de CO ₂ equivalente por categoría.	89
Figura 36. Árbol de decisión correspondiente a la fermentación entérica.	98
Figura 37. Árbol de decisión correspondiente al manejo de estiércol.	99
Figura 38. Árbol de decisión correspondiente a la quema de residuos agrícolas.	100
Figura 39. Árbol de decisión correspondiente a los suelos agrícolas.	101

Figura 40. Árbol de decisión correspondiente al cultivo de arroz.	102
Figura 41. Emisiones de metano generadas por la fermentación entérica.	113
Figura 42. Emisiones de metano (Gg) provenientes del manejo de estiércol.	114
Figura 43. Emisiones de N ₂ O (Gg) provenientes del manejo de estiércol.	116
Figura 44. Emisiones de gases por la quema de residuos agrícolas.	117
Figura 45. Resumen de emisiones de Gg de CO ₂ eq., por categoría.	120
Figura 46. Categorías asociadas al cambio de uso de suelo y silvicultura.	129
Figura 47. Árbol de decisión para la existencia de datos estatales para el cálculo de emisiones.	132
Figura 48. Árbol de decisiones para la conversión de bosques y praderas a tierras de cultivo.	133
Figura 49. Árbol de decisión para el abandono de tierras de cultivo.	134
Figura 50. Árbol de decisión para la emisión y absorción de CO ₂ en suelos.	135
Figura 51. Árbol de decisión para cambio de carbono en suelo mineral.	136
Figura 52. Producción forestal maderable en el Estado de México.	141
Figura 53. Consumo de leña para el Estado de México (SENER).	142
Figura 54. Superficie afectada por incendios en el Estado de México (ha).	143
Figura 55. Procesos de cambio de la cobertura vegetal en el Estado de México (generado a partir de las series de uso de suelo y vegetación del INEGI).	149
Figura 56. Emisiones de CO ₂ (Gg) generados por el cambio en bosques y otros almacenes de biomasa leñosa.	152
Figura 57. Emisiones de CO ₂ (Gg) generados por la conversión de bosques y pastizales a tierras de cultivo.	153
Figura 58. Emisiones de CO ₂ (Gg) generadas por el abandono de tierras manejadas.	154
Figura 59. Emisiones y remociones en el sector USCUSyS.	155
Figura 60. Árbol de decisión para estimar las emisiones de CH ₄ procedente de aguas residuales.	165
Figura 61. Emisiones potenciales de CH ₄ por el tratamiento de residuos sólidos.	166
Figura 62. Emisiones de CH ₄ procedentes de descargas de aguas industriales y domésticas.	167
Figura 63. Árbol de decisión para calcular el CH ₄ procedente de las emisiones industriales.	168
Figura 64. Árbol de decisión para estimar el CO ₂ proveniente de la incineración de residuos.	169
Figura 65. Comparación entre las emisiones de metano generados por la disposición de residuos sólidos urbanos en el Estado de México, 2005 y 2010.	176
Figura 66. Porcentaje de emisiones por el tratamiento de lodos y aguas residuales procedentes del sector doméstico/comercial para el año 2010.	178
Figura 67. Porcentaje de emisiones por el tratamiento de lodos y aguas residuales procedentes del sector industrial para el año 2010.	179
Figura 68. Porcentaje de emisiones por el tratamiento de lodos y aguas residuales procedentes del sector industrias para el año 2005.	180
Figura 69. Oxido nitroso liberado en Gg, año 2005 y 2010.	181
Figura 70. Porcentaje de emisiones por subsector del año 2010.	182

Índice de Tablas

Tabla 1. Potencial de Calentamiento Global de los GEI.	23
Tabla 2. Tendencias de emisiones 2005-2010.	26
Tabla 3. Emisiones de GEI (por sectores y subsectores) para el Estado de México, año 2005.	30
Tabla 4. Emisiones de GEI (por sectores y subsectores) para el Estado de México, año 2010.	31
Tabla 5. Fuentes consideradas para la categoría de energía.	37
Tabla 6. Consumo de combustibles anuales para el Estado de México en TJ.	38
Tabla 7. Consumo de combustibles por sector en el Estado de México en TJ.	40
Tabla 8. Consumo de combustibles en las industrias de la energía en TJ.	41
Tabla 9. Consumo de combustibles en el sector industrial en TJ.	42
Tabla 10. Consumo de combustibles por las industrias manufactureras en TJ en el Estado de México para los años 2005 y 2010.	43
Tabla 11. Consumo de combustibles en el subsector residencial en TJ.	44
Tabla 12. Consumo de combustibles en el subsector comercial en TJ.	45
Tabla 13. Consumo de combustible en el subsector agrícola en TJ.	46
Tabla 14. Consumo de combustibles en el subsector transporte en TJ.	47
Tabla 15. Consumo por tipo de combustible en el subsector transporte en TJ.	47
Tabla 16. Número de vehículos por tipo.	48
Tabla 17. Consumo de combustibles en TJ. en el subsector ferroviario.	49
Tabla 18. Consumo de combustibles en TJ. en el subsector aéreo.	49
Tabla 19. Factores de emisión de carbono en t C/TJ.	52
Tabla 20. Factores de emisión de carbono en t C/TJ.	54
Tabla 21. Factores de emisión.	55
Tabla 22. Factores de emisión para el subsector transporte.	56
Tabla 23. Emisiones anuales de GEI en Gg de CO ₂ equivalente.	59
Tabla 24. Emisiones anuales de GEI por subsector.	60
Tabla 25. Emisiones de GEI del año 2005 por subsector.	62
Tabla 26. Emisiones de GEI del año 2010 por subsector.	63
Tabla 27. Producción y consumo anual total de la categoría productos minerales.	77
Tabla 28. Producción y consumo anual total de la categoría Industria química.	78
Tabla 29. Producción y consumo anual de producción de metales.	79
Tabla 30. Producción y consumo anual total de la categoría otras industrias.	80
Tabla 31. Factores de emisión para la categoría productos minerales.	81
Tabla 32. Factores de emisión para la categoría industria química.	82
Tabla 33. Factores de emisión para la categoría Producción de metales.	83
Tabla 34. Factores de emisión para la categoría producción de celulosa y papel.	84
Tabla 35. Factores de emisión para la producción de alimentos y bebidas.	84
Tabla 36. Resumen de emisiones del sector Procesos Industriales en CO ₂ eq.	89
Tabla 37. Emisiones de gases de efecto invernadero, actividades de los subsectores e información requerida para el sector agricultura.	96
Tabla 38. Hato ganadero del Estado de México.	103
Tabla 39. Producción agrícola para el Estado de México.	104
Tabla 40. Superficie de arroz palay en el Estado de México para los años 2005 y 2010.	105
Tabla 41. Cultivos fijadores de Nitrógeno en el Estado de México para los años 2005 y 2010.	106
Tabla 42. Cultivos no fijadores de Nitrógeno en el Estado de México para los años 2005 y 2010.	106
Tabla 43. Producción de los cultivos fijadores de nitrógeno para los años 2005 y 2010.	108
Tabla 44. Consumo de fertilizantes nitrogenados.	109
Tabla 45. Factores de emisión para las actividades de fermentación entérica y manejo de estiércol.	111
Tabla 46. Factores de emisión para la quema de residuos agrícolas.	112
Tabla 47. Emisiones de metano (Gg) provenientes de la fermentación entérica.	113
Tabla 48. Emisiones de metano (Gg) provenientes del manejo de estiércol.	115
Tabla 49. Emisiones de N ₂ O (Gg) provenientes de suelos agrícolas.	117

Tabla 50. Emisiones de CH ₄ (Gg) procedentes del cultivo de arroz.	118
Tabla 51. Resumen de emisiones para el sector agricultura.	119
Tabla 52. Análisis de categorías clave para el Sector Agricultura.	120
Tabla 53. Superficie forestal por ecosistema en el Estado de México.	127
Tabla 54. Superficie bajo manejo forestal autorizada en el Estado de México.	138
Tabla 55. Densidad promedio de la madera para los distintos ecosistemas reportados en el Estado de México.	140
Tabla 56. Conversión de bosques y pastizales a tierras de cultivo (valor anualizado Kha).	144
Tabla 57 Conversión de Bosques y pastizales a tierras de cultivo (promedio de 10 años K ha).	144
Tabla 58. Regeneración de tierras abandonadas (20 años) Kha.	145
Tabla 59. Homologación de clases para la elaboración de las matrices de cambio.	147
Tabla 60. Factores de emisión empleados en el subcategoría cambios en bosques y otros tipos de biomasa leñosa.	150
Tabla 61. Factores de emisión empleados en el subcategoría de Conversión de Bosques y Pastizales a tierras de cultivo.	151
Tabla 62. Factores de emisión para antes y después de la conversión.	151
Tabla 63. Resumen general de emisiones para el sector USCUSyS en el Estado de México expresados en Gg de CO ₂ .	155
Tabla 64. Superficie reforestada (ha) 2005-2010.	159
Tabla 65. Emisiones de GEI, actividades de los subsectores e información requerida para el sector desechos.	163
Tabla 66. Clasificación de los vertederos de residuos sólidos y factores de corrección para el metano.	174
Tabla 67. Factores de emisión utilizados en el sector Desechos.	174
Tabla 68. Emisiones totales de GEI por subsector años 2005 y 2010.	182
Tabla 69. Emisiones totales por subsector años 2005 y 2010 en Gg de CO ₂ equivalente.	183

Lista de Acrónimos

AIT	Aeropuerto Internacional de Toluca
AMAIT	Administradora Mexiquense del Aeropuerto Internacional de Toluca S.A. de C.V
ASA	Aeropuertos y Servicios Auxiliares
ASERCA	Apoyos y Servicios a la Comercialización Agropecuaria
BDFE	Base de datos de factores de emisión
BDS	Biomasa subterránea
BEF	Factor de expansión de biomasa
BSS	Biomasa sobre el suelo
CAEM	Comisión del Agua del Estado de México
CFE	Comisión Federal de Electricidad
CMNUCC	Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático
COA	Cédula de Operación Anual
COI	Cédula de Operación Integral para fuentes fijas de jurisdicción estatal
COLPOS	Colegio de Postgraduados
CONABIO	Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad
CONAFOR	Comisión Nacional Forestal
COS	Carbono orgánico del suelo
D PICC 1996R	Directrices del PICC versión Revisada 1996
DA	Datos de actividad
DGPCCA	Dirección General de Prevención y Control de la Contaminación Atmosférica
ECOSUR	El Colegio de la Frontera Sur
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación
FE	Factor de emisión
FR	Factor de remoción
GBP	Guía de las Buenas Prácticas
GBP 2003	Guía de las Buenas Prácticas para el Sector Uso de Suelo, Cambio de Uso de Suelo y Bosques 2003
GEI	Gases de Efecto Invernadero
GEM	Gobierno del Estado de México
GLP	Gas Licuado de Petróleo
GPGUM	Por sus siglas en inglés y significa Guía de las Buenas Prácticas y Manejo de la Incertidumbre,
GWP	Potencial de Calentamiento Global Global Warming Potential por sus siglas en inglés
HAC	Arcillas de alta actividad (High Activity Clay)
INE	Instituto Nacional de Ecología
INECC	Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático

INEGI	Instituto Nacional de Estadística y Geografía (antes Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática)
INEM	Inventario Nacional de Emisiones
INFyS	Inventario Nacional Forestal y de Suelos
INIFAP	Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias
IPCC	Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés).
LAC	Arcillas de baja actividad (Low Activity Clay)
LTO	Ciclos de aterrizaje y despegue
LyFC	Luz y Fuerza del Centro
MDL	Mecanismo de desarrollo limpio
MOD	Materia orgánica en descomposición
NAI	No Anexo I
COV	Compuestos orgánicos volátiles
OBP2003.	Orientación de las Buenas Practicas 2003
PEMEX	Petróleos Mexicanos
pH	Potencial de hidrógeno
PIB	Producto Interno Bruto
PICC	Panel Intergubernamental de Cambio Climático ó IPCC por sus siglas en inglés
PRODEPLAN	Programa de Plantaciones Forestales Comerciales
PROFEPA	Procuraduría Federal de Protección al Ambiente.
RETC	Registro de Emisiones y Transferencias de Contaminantes
RSU	Residuos Sólidos Urbanos
SCT	Secretaría de Comunicaciones y Transportes
SEMARNAT	Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales
SENER	Secretaria de Energía
SIACON	Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta.
SIE	Sistema de Información Energética
SMAGEM	Secretaria de Medio Ambiente del Gobierno del Estado de México
ONU	Organización de las Naciones Unidas
USCUSyS	Uso de Suelo y Cambio de Uso de Suelo y Silvicultura

Lista de Compuestos Químicos

CaCO ₃	Carbonato de calcio
CH ₄	Metano
CO ₂	Dióxido de carbono
CO	Monóxido de carbono
N ₂ O	Óxido nitroso
Na ₂ O	Sosa
C	Carbono
C ₂ F ₆	Hexafluoroetano
CF ₄	Tetrafluorometano
CH ₄	Metano
CO	Monóxido de carbono
CO ₂	Dióxido de carbono
N	Nitrógeno
N ₂ O	Óxido nitroso
NH ₃	Amoniaco
NO	Óxido nítrico
NO _x	Óxidos de nitrógeno
O ₃	Ozono
CaO	Oxido de calcio
SiO ₂	Sílice
SO ₂	Dióxido de azufre
SF ₆	Hexafluoruro de azufre
PFC	Perfluorocarbonos
COVDM	Compuestos orgánicos volátiles diferentes del metano
CO ₂ eq	Dióxido de carbono equivalente

Lista de Unidades

%	Porcentaje
g	Gramo
Gg	Gigagramos
h	Hora
Ha	Hectáreas
ha	Hectárea
J	Joule
k/ha	kilo hectárea
km ²	kilometro cuadrado
L	litro
m ³	metro cúbico
m ³ r	metro cúbico en rollo
Mb	miles de barriles
mbp	Miles de barriles de petróleo
mm	Milímetro
TJ	Tera Joule
Ton	Toneladas
W	Watt
Wh	Watt hora
Wh/m ²	Watt hora/metro cuadrado

Glosario

Aguas Residuales Doméstico/Comerciales	Aguas residuales producidas en domicilios, comercios y servicios urbanos.
Aguas Residuales Industriales	Aguas usadas en los procesos industriales.
Alto Horno	Horno utilizado en la industria del hierro y el acero, en el cual se intensifica la combustión mediante la inyección de aire a presión, particularmente para fundir el hierro por mineral ferroso, de coque y de fundente. Soplado de aire a través de una mezcla caliente
Análisis de incertidumbre	El análisis de incertidumbre de un modelo tiene por objeto proporcionar mediciones cuantitativas de la incertidumbre que tienen los valores finales del modelo como consecuencia de las incertidumbres de propio modelo y en los valores introducidos inicialmente en este y examinar la importancia relativa de esos factores
Aprovechamiento	Es la parte comercial de la tala destinada a la elaboración ó al consumo directo
Árbol de Decisiones	Diagrama de Flujo que propone como primer pasó el GPGUM para determinar la metodología a aplicar de acuerdo a los parámetros requeridos por la propia metodología.
Asfalto	El asfalto es el producto de la mezcla del alquitrán y agregados (de grano grueso o fino, incluida la arena) que se usa para pavimentar rutas, calzadas y aceras, para impermeabilizar techos, y para otros usos industriales.
Biomasa	El término biomasa en su sentido más amplio incluye toda la materia viva existente en un instante de tiempo en la Tierra. La biomasa energética también se define como el conjunto de la materia orgánica, de origen vegetal o animal, incluyendo los materiales procedentes de su transformación natural o artificial.

Cualquier tipo de biomasa tiene en común con el resto el hecho de provenir en última instancia de la fotosíntesis vegetal.

Bosques	Para este reporte se partió de los lineamientos elaborados por el Panel Intergubernamental sobre cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés)(IPCC 2003). Se definió bosque a la comunidad dominada por árboles o plantas leñosas con un tronco bien definido, con alturas mínimas de 2-4 m, con una superficie mínima de 1ha y con una cobertura arbórea del 30% (Ver cuadro 1 dentro del reporte). Geográficamente se diferenciaron en bosques tropicales y bosques templados.
Cal apagada	Denominación común para el hidróxido de calcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) que resulta de la hidratación de la cal viva con fuerte proporción de calcio o cal de dolomita (carbonato natural doble de calcio y de magnesio)
Calcinación	Proceso químico de la fabricación del cemento o cal, en el cual las materias primas, principalmente los Carbonatos, son calentados en hornos para producir óxido metálico y dióxido de carbono; p. ej., $\text{CaCO}_3 + \text{calor} = \text{CaO} + \text{CO}_2$. En el caso más general, la calcinación es un proceso de expulsión inducida por el calor de elementos volátiles ligados estructuralmente, con excepción del agua.
Cambio de clasificación	Cambio en el tipo de clasificación de un área de vegetación natural de una serie a otra, ejemplos (de Bosque de Pino Encino a Bosque de encino).
Cambio de uso de suelo	A los cambios que sufre la superficie terrestre, debido principalmente a la apertura de nuevas tierras agrícolas, desmontes, asentamiento humanos e industriales. Es decir a las diferentes formas en que se emplea un

	terreno y su cubierta vegetal (SEMARNAT 2005).
Cambios en nivel del agua	Aumento o descenso en el nivel de los cuerpos de agua.
Carbono equivalente/CO ₂ equivalente	Valor asignado al potencial de calentamiento global de los gases de efecto invernadero distintos al CO ₂ y es expresado en un basado en un horizonte de 100 años, comparado con el potencial de calentamiento de una molécula de CO ₂ .
Clinker (Escoria de cemento)	Producto intermediario creado en un horno de altas temperaturas durante la fabricación del cemento. En el horno de altas temperaturas se calcina el carbonato de calcio para obtener cal (CaO) y dióxido de carbono (CO ₂). El CaO reacciona luego con el dióxido de silicio (SiO ₂) y otros óxidos para formar minerales hidráulicamente reactivos (principalmente silicatos de calcio) dentro de nódulos semi-vitrificados llamados clínker (o escoria de cemento). El clínker se muele luego finamente (generalmente, con una pequeña cantidad de yeso) para formar el cemento. El CO ₂ proveniente de la fabricación de clínker (tanto el que proviene de la calcinación como el que produce la quema de combustibles para hornos de altas temperaturas) se libera normalmente en la atmósfera como un producto de desecho y es una fuente significativa de las emisiones mundiales de CO ₂ .
Cobertura	Este término se aplica en un todo o en parte a algunos de los atributos del terreno y que en cierta forma ocupan una porción de su superficie, por estar localizados sobre éste. La cobertura como elemento del paisaje puede derivarse de ambientes naturales, como producto de la evolución ecológica (bosques, selvas, matorrales, etc.) o a partir de ambientes que han sido producidos y mantenidos por el hombre, como pueden ser los cultivos, las ciudades, las presas, etc. (López G, 1999)

Combustóleo	Combustible utilizado en procesos industriales en quemadores, calentadores, calderas, generadores de energía eléctrica y embarcaciones mayores.
Concreto Asfáltico	También llamado hormigón asfáltico, está compuesto por un aglutinante asfáltico (alquitrán) mezclado con un agregado mineral, depositado en capas y compactado. El alquitrán mezclado en caliente o HMA (del inglés, Hot Mix Asphalt) es una combinación de aproximadamente 95% de agregado mineral que se mantiene ligado con un aglutinante asfáltico calentado antes de la realización de la mezcla. En Estados Unidos, el concreto asfáltico se denomina informalmente «asphalt» o «asphalt concrete».
Control y aseguramiento de la calidad de datos CC/AC	Del inglés Quality Assurance/ Quality Control, (QA/QC). - actividades propuestas para asegurar la calidad y el control de la misma, consistentes en la revisión y comparación de factores de emisión, metodologías e información de las actividades.
Coque de petróleo	Masa sólida porosa, de color gris hasta negro. Se usa como combustible sólido para calderas y se maneja a granel en góndolas y camión de redilas.
Crecimiento urbano	Incremento de la superficie ocupada por áreas habitacionales o industriales.
Dasometría	Se ocupa de la medición de los árboles, de la determinación del volumen de los bosques y de los crecimientos de los árboles y bosques y de las cuestiones relacionadas con la estimación métrica y cubicación de la masa forestal, entendida como conjunto de árboles que conviven en un espacio común.
Datos de actividad	Definición para los inventarios: Datos sobre la magnitud de las actividades humanas que dan lugar a las emisiones o absorciones que se producen durante un periodo de tiempo determinado

Datos de Actividad	Activity Data en inglés, información estadística de las fuentes que dan lugar a los gases efecto invernadero. Datos acerca de la magnitud de aquellas actividades humanas que resulten en emisiones/remociones durante un periodo de tiempo.
Deforestación	Pérdida total o parcial del arbolado, denso o abierto, por cambio a usos No Forestales.
Demanda	Relación entre el precio de un bien y la cantidad demandada
Emisiones	Liberación a la atmósfera de gases de efecto invernadero y/o sus precursores y aerosoles en la atmósfera, incluyendo en su caso compuestos de efecto invernadero, en una zona y un periodo de tiempo específicos
Estimación	Es la evaluación del valor de una cantidad o de su incertidumbre mediante la asignación de valores numéricos de observación en una fórmula de estimación, o estimador.
Factor de remoción.	Tasa de captación de carbono atmosférico por los sistemas terrestres y su captura en la biomasa y el suelo.
Factores de Emisión	Emission Factors en inglés; para los inventarios se define como: Coeficiente que relaciona los datos de actividad, con la cantidad del compuesto químico (Gas de efecto invernadero) que constituye la fuente de las últimas emisiones. Los factores de emisión, son estimados a partir de una muestra de datos sobre mediciones, expresado en promedio para determinar una tasa representativa de las emisiones correspondientes a un determinado nivel de actividad en un conjunto dado de condiciones de funcionamiento en relación de la cantidad de emisiones por unidad de masa de fuente generadora. Cantidad de emisiones por unidad de masa de fuente generadora..

	<p>Coeficiente que relaciona los datos de actividad con la cantidad del compuesto químico que produce la emisión. Los factores de emisión/remoción comúnmente se basan en muestras de mediciones que son promediadas para ser representativos de la tasa de emisión o de remoción bajo determinados niveles de actividad y condiciones de operación</p>
Fuente.	<p>Cualquier proceso o actividad que libere en la atmósfera gases de invernadero (tales como el CO₂ y el CH₄). Un almacén de carbono puede ser fuente liberadora de carbono a la atmósfera si recibe menos carbono que el que emite.</p>
Fuentes emisoras	<p>Todo proceso, actividad, servicio o mecanismo que libere un gas o compuesto de efecto invernadero a la atmósfera.</p>
Fuentes fijas	<p>Son las fuentes industriales estacionarias que generan emisiones desde puntos estacionarios, por ejemplo, chimeneas o respiraderos.</p>
Fuentes móviles	<p>Las fuentes móviles incluyen a las diversas formas de transporte tales como automóviles, camiones, aviones, etc.</p>
Gas Licuado de Petróleo	<p>Mezcla compuesta principalmente de propano y butano, para uso doméstico.</p>
Gas Natural	<p>Combustible para generación de calor, de uso industrial y doméstico. El metano se utiliza también como materia prima en los procesos petroquímicos.</p>
Gases de Efecto Invernadero	<p>GEI, Aquellos componentes gaseosos de la atmósfera, tanto naturales como antropógenos, que absorben y emiten radiación infrarroja.</p>

Gg	Unidad de medida de masa equivalente a giga gramos (10 a la 9), empleada para reportar los gramos emitidos de CO ₂ ó CO ₂ equivalente de gases de efecto invernadero (GEI).
GPGUM	Por sus siglas en inglés y significa Guía de las Buenas Prácticas y Manejo de la Incertidumbre, conjunto de instrucciones propuestas por el IPCC para elaborar los inventarios de GEI para reducir al máximo las incertidumbres de los resultados de los mismos.
Incremento medio anual	El promedio anual del incremento total.
Incremento volumétrico	Medida, en metros cúbicos rollo total, de la velocidad de producción total de madera (por árboles, rodales o estratos), basada en el volumen de madera producida en un periodo dado.
Inventario	Documento que contiene la estimación de las emisiones antropógenas por las fuentes y de la absorción por los sumideros.
Leña	Toda aquella madera que conserva su estructura original y cuya combustión intencional puede aprovecharse como fuente directa o indirecta de energía.
Lodos residuales	Fracción orgánica ó sólida de las aguas residuales, la cual se precipita formando lodos y cuyas características dependen del tipo de aguas residuales de donde provienen.
Plantación forestal comercial	El establecimiento, cultivo y manejo de vegetación forestal en terrenos temporalmente forestales o preferentemente forestales, cuyo objetivo principal es la producción de materias primas forestales destinadas a su industrialización y/o comercialización.
Potencial de Calentamiento Global	PCG o GWP (Global Warming Potential, por sus siglas en inglés). El potencial de

calentamiento global proviene del atrapamiento que ejercen sobre la radiación infrarroja solar reflejada por la Tierra. El incremento sostenido de las concentraciones de estos gases en la atmosfera desde el inicio de la revolución industrial y especialmente la aceleración de las concentraciones en los últimos 50 años debido a actividades antropogénicas . El potencial de calentamiento global compara el forzamiento radiactivo integrado durante un período de tiempo específico (por ejemplo, 100 años) con una emisión de pulso de una unidad de masa y constituye una forma de comparar el cambio climático potencial asociado con las emisiones de diferentes gases de efecto invernadero.

Reforestación

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

Residuos Peligrosos Biológico Infecciosos

Residuos generados en y por la industria que requieren tratamientos específicos como la incineración a altas temperaturas para su disposición o confinamiento controlado, para evitar riesgos de salud y contaminación irreversible del medio ambiente.

Residuos Peligrosos

Residuos generados en y por la industria que requieren tratamientos específicos como la incineración a altas temperaturas para su disposición o confinamiento controlado, para evitar riesgos de salud y contaminación irreversible del medio ambiente.

Residuos Sólidos Urbanos

Basura domiciliaria y de servicios urbanos, comercios, etc.

Revegetación	<p>Establecimiento de vegetación secundaria por abandono de parcelas agrícolas, pecuarias o vegetación recuperada después de algún evento de rápida transformación sobre la cobertura vegetal (áreas afectadas por incendios, deslaves, inundaciones, etcétera). Es el incremento de los almacenes de carbono debido a actividad humana directa o inducida a través del establecimiento de vegetación que cubre un área mínima de 0.05ha.</p>
Software del IPCC	<p>Programa de cálculo en Excel proporcionado por el IPCC para sistematizar y facilitar la elaboración de los inventarios de GEI.</p>
Sumidero	<p>Cualquier proceso, actividad o mecanismo que remueva gases de invernadero (como el CO₂) de la atmósfera. Un almacén determinado puede ser sumidero de carbono atmosférico si, durante un lapso, fluye más carbono atmosférico hacia su interior que el que se libera a la atmósfera.</p>
Tala	<p>Volumen en pie de todos los árboles vivos o muertos, medidos a un diámetro mínimo especificado a la altura del pecho que se cortan durante el periodo de referencia, incluidas todas las partes de los árboles.</p>
Turbosina	<p>Combustible utilizado en los aviones con motores de turbina o a reacción.</p>
Uso de suelo	<p>Cobertura antropogénica que modifica el paisaje, desarrollada para satisfacer las necesidades humanas.</p>
Verificación vehicular	<p>Es una actividad de control de emisión de contaminantes a la atmósfera, a través de la inspección-mantenimiento de los vehículos automotores. Tienen como meta principal certificar que los vehículos automotores en circulación no rebasen los límites máximos permisibles de emisión a la atmósfera establecidas en las normas oficiales mexicanas aplicables.</p>

Resumen Ejecutivo

La Organización de las Naciones Unidas (ONU) define al cambio climático como “un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmosfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observado durante periodos de tiempo comparables.”

Si bien, se ha demostrado que el cambio climático es un proceso cíclico en la historia del planeta, en la actualidad la contribución de las emisiones antropogénicas, sumada al amplio deterioro ambiental han generado el incremento de los GEI hasta niveles nunca antes registrados. Debido al efecto negativo de las actividades humanas, las concentraciones atmosféricas de estos gases, se han ido incrementando desde la época preindustrial hasta la actualidad. En base a esta tendencia, a estudios y, a los patrones de producción y consumo de las sociedades modernas; la unanimidad de los científicos ponen de manifiesto la relación que existe entre el cambio climático y el aumento de concentraciones de GEI.

Ante tal problemática, la Convención Marco de las Naciones Unidas Sobre el Cambio Climático (CMNUCC), establece lineamientos generales para regular los esfuerzos internacionales encaminados a abordar dicho problema, en donde, se declara como objetivo principal el estabilizar las concentraciones de GEI en la atmósfera a un nivel que sea menos perjudicial. De acuerdo con los lineamientos y las metodologías, los países pertenecientes a la convención deben presentar mediante comunicaciones nacionales las estimaciones de los GEI generados por el país, así como las medidas y planes para estabilizar sus emisiones.

Las concentraciones atmosféricas de gases de efecto invernadero (GEI) no han dejado de aumentar desde la época industrial debido a las actividades humanas. La unanimidad de los científicos es cada vez mayor al interpretar las

observaciones y evidencias que se están produciendo en la Tierra por el efecto del cambio climático, y los estudios climáticos ponen de manifiesto la relación entre el cambio climático y el aumento de concentraciones de GEI.

Con el propósito de cumplir satisfactoriamente estos compromisos, México es la primera nación de los países No Anexo I en publicar su Quinta Comunicación Nacional (5CN), con actualización del INEGEI al 2010.

El Gobierno del Estado de México a través de la Secretaría de Medio Ambiente del Gobierno del Estado de México (SMAGEM), en colaboración con PRONATURA México, A.C. y con el apoyo del Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) de la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales del Gobierno Federal, realizaron el presente inventario, a fin de dar a conocer las emisiones de GEI de la entidad, este instrumento es un insumo estratégico para el Programa Estatal de Acción ante el Cambio Climático y contribuye con la Estrategia Nacional de Cambio Climático visión 10-20-40.

En el presente inventario se reportan los principales gases de efecto invernadero, contemplados en el protocolo de Kioto: dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), óxido Nitroso (N_2O), Perfluorocarbonos (PFC's) y Hexafluoruro de azufre (SF_6) así como otros gases de efecto invernadero.

En cuanto a los gases de efecto invernadero objetos de este inventario, se presentan en unidades de masa de cada gas como en masa de dióxido de carbono equivalente (CO_2 eq) para cada una de las sustancias consideradas en el Anexo A del Protocolo de Kioto, que incluye los seis grupos de gases con efecto directo sobre el calentamiento global. Adicionalmente se describe el potencial de calentamiento global (PCG) que permite contabilizar en términos de equivalencia de CO_2 eq. (Tabla 1).

Tabla 1. Potencial de Calentamiento Global de los GEI.

GEI	Composición Molecular	GWP-SAR (CO ₂ e)	GWP-TAR (CO ₂ e)	Vida Media (Años)	Origen
Bióxido de carbono	CO ₂	1	1	50 a 200	Quema de combustibles fósiles y de biomasa, incendios forestales.
Metano	CH ₄	21	23	12- 3	Cultivo de arroz, producción pecuaria, residuos solidos urbanos, emisiones fugitivas.
Oxido Nitroso	N ₂ O	310	296	120	Uso de fertilizantes, degradación de suelos, algunos usos médicos.
Hidrofluoro carbonos	HFC-23	11,700	12,000	1.5 a 264	Refrigeración, aire acondicionado, extinguidores, petroquímica, solventes en producción de espumas, refrigerantes y aerosoles, producción y uso de halocarbonos
	HFC-125	2,800	3,400		
	HFC-134a	1,300	1,300		
	HFC-152a	140	120		
	HFC-227ea	2,900	3,500		
	HFC_236 fa	6,300	9,400		
	HFC-4310mee	1,300	1,500		
Perfluorocar bonos	CF ₄	6,500	5,700	2,600 a 50,000	Refrigerantes industriales, aire acondicionado, producción de aluminio, solventes, aerosoles, producción y uso de halocarbonos
	C ₂ F ₆	9,200	11,900		
	C ₄ F ₁₀	7,000	8,600		
	C ₆ F ₁₄	7,400	9,000		
Hexafloururo de Azufre	SF ₆	23,900	22,200	3,200	Aislante dieléctrico en transformadores e interruptores de redes de distribución eléctrica, refrigerante industrial, producción de aluminio, magnesio y otros metales, producción y uso de halocarbonos.

Fuente: IPCC, 1996; IPCC; 2001

Las equivalencias basadas en el PCG se sustentan en las valoraciones realizadas en el SAR (Segundo Informe de Evaluación del IPCC) y en el TAR (Tercer Informe de Evaluación del IPCC).

Se realiza el cálculo del año 2005 con fin comparativo (se elige este año por disponibilidad de datos) y del año 2010 con el fin de que quede como año base para futuros inventarios estatales.

Las emisiones se calcularon con la metodología propuesta por el IPCC versión 1996, Software de inventarios del IPCC, las guías de las buenas prácticas 2000, y el Manejo de la Incertidumbre 1996 y 2003.

La metodología del IPCC versión 1996 reconoce los siguientes sectores:

- 1. Energía.** Comprende el consumo de combustible en la generación de energía el consumo de combustible en la industria, transporte, comercios y servicios, Así como las emisiones fugitivas proveniente del minado y manejo de carbón y de la industria del petróleo y gas, las cuales no se calcularon en el presente inventario.
- 2. Procesos industriales.** Incluye a la industria minera, química, metálica, electrónica, de papel y alimentaria.
- 3. Agricultura.** Se refiere a las quemas para la preparación de terrenos de cultivo, fermentación entérica, manejo de estiércol y suelos agrícolas.
- 4. Uso de Suelo, Cambio de Uso de Suelo y Silvicultura.** Se refiere a la conversión de bosques a praderas, cambios en los almacenes de carbono y cambios en la biomasa forestal y leñosa.

5. Desechos. Consiste en los sitios de deposición final de residuos sólidos urbanos y las plantas de tratamiento de aguas residuales.

El presente inventario satisface los principios de las buenas prácticas, es decir, es completo, preciso, transparente, consistente y comparable, lo que significa que:

- deben ser *completos*, en cuanto a gases, actividades y territorio considerados,
- deben ser *precisos*, lo que significa el uso de la mejor información disponible,
- deben ser *transparentes*, en cuanto a las fuentes de datos y métodos aplicados,
- deben ser *consistentes*, a lo largo de las series temporales, lo que significa el uso de los mismos factores de emisión y métodos para una misma categoría, y
- deben ser *comparables*, lo que significa el uso de metodologías comunes.

Uno de los beneficios resultantes de este inventario es conocer y determinar la contribución de las emisiones de gases de efecto invernadero y sus principales emisores en el Estado de México, con el fin de proponer medidas de mitigación de emisiones de GEI.

Tendencia de las emisiones 2005- 2010.

En cuanto a las emisiones de GEI, se observa un incremento en el año 2010 (tabla 2), esto debido a diferentes causas como son: el crecimiento poblacional, aumento del sector energético y disposición de residuos sólidos en el Estado de México generados en el Distrito Federal. Es importante señalar que el aumento más importante se da en el sector procesos industriales, debido al aumento de la producción de cemento.

Tabla 2. Tendencias de emisiones 2005-2010.

Sector	2005	2010	Incremento
	Gg CO ₂ eq	Gg CO ₂ eq	%
Energía	23,946.45	24,706.19	3.17
Procesos Industriales	1,266.98	3,237.06	155.49
USCUSyS	2,871.23	2,937.72	2.32
Agricultura	3,368.10	3,388.28	0.60
Desechos	9,175.67	12,487.54	36.09
TOTAL	40,628.43	46,756.79	15.08

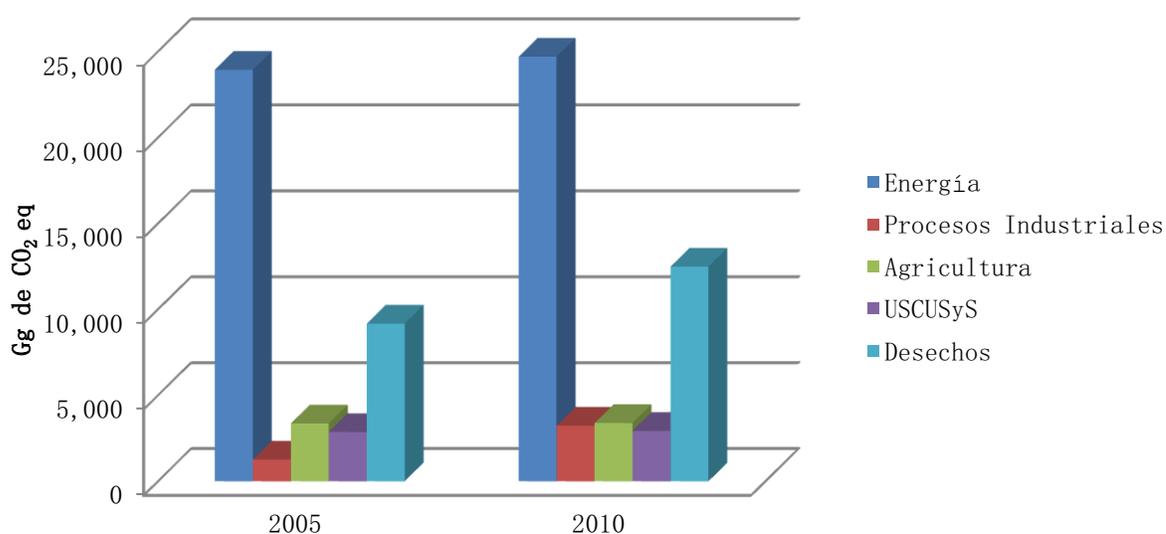
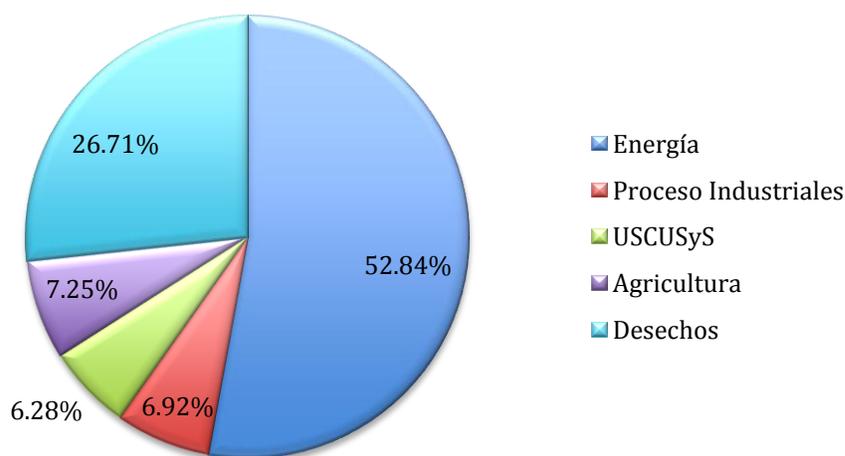


Figura 1. Tendencia de emisiones de GEI por sector.

Para el año 2010 destacan las emisiones de metano del sector desechos con el 28.45% del total del inventario, así como las emisiones de CO₂ del sector energía en la categoría de fuentes móviles con un 20.56%, es importante destacar que el sector energía aporta el 52.84% de las emisiones del inventario en sus diferentes categorías, el sector desechos aporta el 26.71%, mientras que agricultura y USCUSyS el 7.25% y 6.28% respectivamente, cabe mencionar que las emisiones totales en Gg de CO₂ eq. para el año 2010 fueron de 46, 756.79 (Figura 2).



Emisiones totales del inventario estatal de GEI del año 2010: 46,756.9 Gg de CO₂ eq.

Figura 2. Participación de los sectores en las emisiones de GEI en el año 2010.

Resultados por sector

Energía

Las emisiones totales de Gases de Efecto Invernadero (GEI) para el sector Energía fue de 23,946.45 Gg de CO₂ equivalentes para el 2005 y de 24,706.19 Gg de CO₂ equivalentes para el 2010. Las emisiones porcentuales por contaminante para el 2010 fueron 98.95% para el CO₂, el CH₄ con el 0.75% y el N₂O con 0.30%.

Se observa un incremento del 16% en las emisiones del transporte, donde para 2005 se emitieron 8,294.00 Gg de CO₂ equivalente, y para 2010 tenemos una emisión de 9,613.30 Gg de CO₂ equivalente.

Procesos Industriales

Las fuentes que más contribuyeron a las emisiones de CO₂ para el sector procesos industriales en el año 2005 fue la producción de cemento (972.36 Gg) seguida de la producción de cal (137.43 Gg) y en el 2010 fue la misma producción de cemento (1,331.38 Gg) seguida de la producción de aluminio (290.39 Gg). Las emisiones totales de CO₂ eq en este sector son de 1,266.90 Gg y de 3,237.05 Gg para los años 2005 y 2010 respectivamente.

La industria del papel para el año 2010 fue la más emisora de SO₂, COVDM, NO_x, mientras que la producción de aluminio fue la que mas aportó emisiones de CO para el mismo periodo, y es la única subcategoría emisora de CF₄ y C₂F₆. La aportación en CO₂ equivalente en el 2010 con respecto al Nacional fue del 5.20 %.

Agricultura

Las emisiones reportadas para el Estado de México son del orden de 3,368.10 Gg de CO₂ eq para el año base 2005, mientras que, para el año 2010 corresponden a 3,388.28 Gg de CO₂ eq. A nivel general se observó un incremento en las emisiones del 0.60%. En el 2010 las emisiones directas e indirectas provenientes de suelos agrícolas representan el 63.70% del total, la fermentación entérica el 29.48% y el manejo de estiércol el 5.64%. Al hacer la comparación con los datos reportados por el Inventario Nacional (INEGEI) para el 2010, podemos observar que el Estado de México contribuye con un 3.68% de las emisiones totales. Si bien, este sector es de los que contribuyen en cuanto a emisiones de GEI a la atmósfera, representa posibilidades de mitigación y adaptación.

Uso de Suelo Cambio de Uso de Suelo y Silvicultura

El sector de USCUSyS aporta en el año base (2005) un total de 2,871.23 Gg de CO₂, mientras que en el 2010 las emisiones son de 2,937.71 Gg de CO₂. En este periodo de estudio, las emisiones se incrementaron 2.28%.

Para ambos años, el cambio en bosques y otros reservorios de biomasa leñosa son el sub-módulo que más contribuye en emisiones, posteriormente, la conversión de bosques y pastizales; por último, la regeneración de tierras abandonadas, que retiene un promedio de 482 Gg de CO₂.

Desechos

El total de las emisiones calculadas para el Inventario del Estado de México para el año 2010 en el sector Desechos es de 12,487.54 Gg de CO₂ eq. siendo la generación y disposición de residuos sólidos urbanos la principal fuente de emisiones, con cerca del 80% del total generado en el sector.

El total de emisiones nacionales del sector desechos para el 2010 fue de 44,146.88 Gg eq.(SEMARNAT, 2012), de los cuáles el Estado de México aporta 12,487.33 Gg que corresponden al 28.29% del total generado a nivel nacional.

En lo que respecta al año 2005, el total de emisiones calculadas fue de 9,175.67 Gg de CO₂ eq, al igual que durante el año 2010, el subsector de generación de residuos sólidos urbanos es la principal causa de las emisiones. Es preciso mencionar que el incremento de las emisiones totales del sector desechos del año 2005 al 2010 fue de 26.52%.

Por último, en la siguientes tablas se muestra un resumen de los resultados del Inventario de GEI por categorías y subcategorías, para los años 2005 y 2010.

Tabla 3. Emisiones de GEI (por sectores y subsectores) para el Estado de México, año 2005.

RESUMEN DEL REPORTE ESTATAL DE EMISIONES DE LOS GASES DE EFECTO INVERNADERO								
AÑO 2005		(Gg de CO ₂ eq)						TOTAL GENERAL
SECTOR	ACTIVIDAD	CO ₂ EMITIDO	CO ₂ REMOVIDO	CH ₄	N ₂ O	CF ₄	C ₂ F ₆	
ENERGÍA	Industria generadora de Energía	4,763.40		1.80	2.60			
	Industrias Manufactureras	6,848.30		9.20	9.30			
	Transporte	8,227.10		45.20	21.70			
	Comercial	762.90		2.50	2.20			
	Residencial	3,027.70		128.30	32.00			
	Agrícola	61.80		0.20	0.20			
PROCESOS INDUSTRIALES	Producción de minerales	1,112.86						
	Producción de metales	96.42				50.55	7.15	
AGRICULTURA	Fermentación entérica			921.93				
	Manejo de estiércol			34.76	161.08			
	Quema de residuos agrícolas			24.83	19.92			
	Emisiones directas e indirectas provenientes de suelos agrícolas				2,205.20			
	Cultivo de arroz			0.38				
USCUSyS	Cambios en bosques y otros reservorios leñosos	1,886.82						
	Conversión de Bosques y Pastizales	1,466.74						
	Abandono de tierras manejadas		-482.33					
DESECHOS	Residuos sólidos urbanos (Edo de México.)			7,482.09				
	Residuos sólidos urbanos (D.F.)							
	Incineración de residuos (Sector Salud)							
	Excreta humana				368.90			
	Tratamiento de aguas residuales domésticas			161.07				
	Tratamiento de lodos residuales domésticos			869.61				
	Tratamiento de aguas residuales industriales			117.60				
	Tratamiento de lodos residuales industriales			176.40				
TOTAL PARCIAL		28,254.04	-482.33	9,975.87	2,823.10	50.55	7.15	
TOTAL GENERAL								40,628.43

Tabla 4. Emisiones de GEI (por sectores y subsectores) para el Estado de México, año 2010.

RESUMEN DEL REPORTE ESTATAL DE EMISIONES DE LOS GASES DE EFECTO INVERNADERO								
AÑO 2010		(Gg de CO ₂ eq)						TOTAL GENERAL
SECTOR	ACTIVIDAD	CO ₂ EMITIDO	CO ₂ REMOVIDO	CH ₄	N ₂ O	CF ₄	C ₂ F ₆	
ENERGÍA	Industria generadora de Energía	4,104.40		1.60	2.30			
	Industrias Manufactureras	6,423.10		7.90	10.30			
	Transporte	9,539.00		48.30	26.00			
	Comercial	714.10		2.30	2.00			
	Residencial	3,611.10		125.90	32.70			
	Agrícola	54.80		0.20	2.30			
PROCESOS INDUSTRIALES	Producción de minerales	1,631.73						
	Producción de metales	411.53				1,046.60	147.20	
AGRICULTURA	Fermentación entérica			998.93				
	Manejo de estiércol			31.79	159.17			
	Quema de residuos agrícolas			23.6	16.5			
	Emisiones directas e indirectas provenientes de suelos agrícolas				2157.94			
	Cultivo de arroz			0.35				
USCUSyS	Cambios en bosques y otros reservorios leñosos	1,826.84						
	Conversión de Bosques y Pastizales	1,554.51						
	Abandono de tierras manejadas		-443.63					
DESECHOS	Residuos sólidos urbanos (Edo de México.)			7,909.65				
	Residuos sólidos urbanos (D.F.)			2,003.61				
	Incineración de residuos (Sector Salud)							
	Excreta humana				415.40			
	Tratamiento de aguas residuales domésticas			268.17				
	Tratamiento de lodos residuales domésticos			1,014.51				
	Tratamiento de aguas residuales industriales			347.13				
	Tratamiento de lodos residuales industriales			516.81				
TOTAL PARCIAL		29,883.36	-443.63	13,300.75	2,822.31	1,046.60	147.20	
TOTAL GENERAL								46,756.79



Responsables:

Ing. Bibiana Valdez Avendaño

Biól. Lucila María Balam de la Vega

Revisores

M. en C. Xóchitl Cruz Núñez

Dr. José Antonio Benjamín Ordóñez Díaz

Panorama General

El sector energético es responsable de más de la mitad de las emisiones de gases de efecto invernadero en el mundo. A nivel nacional representa la categoría más importante, representa el 67.3% (503,817.6Gg CO₂ eq. – dato de emisión reportada para el año 2010 -).¹

Las emisiones del sector energético se componen principalmente por emisiones derivadas de la combustión. Siguiendo la definición del IPCC, combustión se define como la oxidación intencional de materiales dentro de un aparato diseñado para proporcionar calor o trabajo mecánico a un proceso, o para uso fuera del aparato. Esta definición separa la combustión para obtener energía productiva del calor liberado por hidrocarburos en reacciones químicas en procesos industriales, o del uso de hidrocarburos para usos finales no-energéticos. Se subdivide en consumo de combustibles fósiles y en emisiones de metano.

Las emisiones de GEI en cuanto a fuentes de combustión distribuidas en el Estado de México, se calcularon en base en las categorías definidas por las “Directrices del IPCC para Inventarios Nacionales de Gases Efecto Invernadero, 1996” con las metodologías de nivel 1, por defecto, y en los casos en las que se cuenta con más información, se utilizaron las metodologías del nivel 2.

Para los cálculos de emisiones de GEI del sector se ha consultado el consumo de energía para los años 2005 y 2010. Teniendo el primero como año base.

Los contaminantes reportados en este apartado son: el CO₂, CH₄ y N₂O, así como el CO, NO_x y COVNM. Para el caso de las emisiones fugitivas no fueron estimadas en la entidad debido a que no se cuenta con minado de carbón y con actividades de producción de petróleo y gas natural, sólo se tienen el almacenamiento y la distribución de combustibles.

¹ INECC, 2012. México, Quinta Comunicación Nacional ante la CMNUCC, pág. 195.

En esta categoría se incluyen las emisiones de las industrias dedicadas a la generación de energía, así como el transporte, industrias de manufactura, el sector comercial, residencial y agrícola.

Los subsectores a evaluar son:

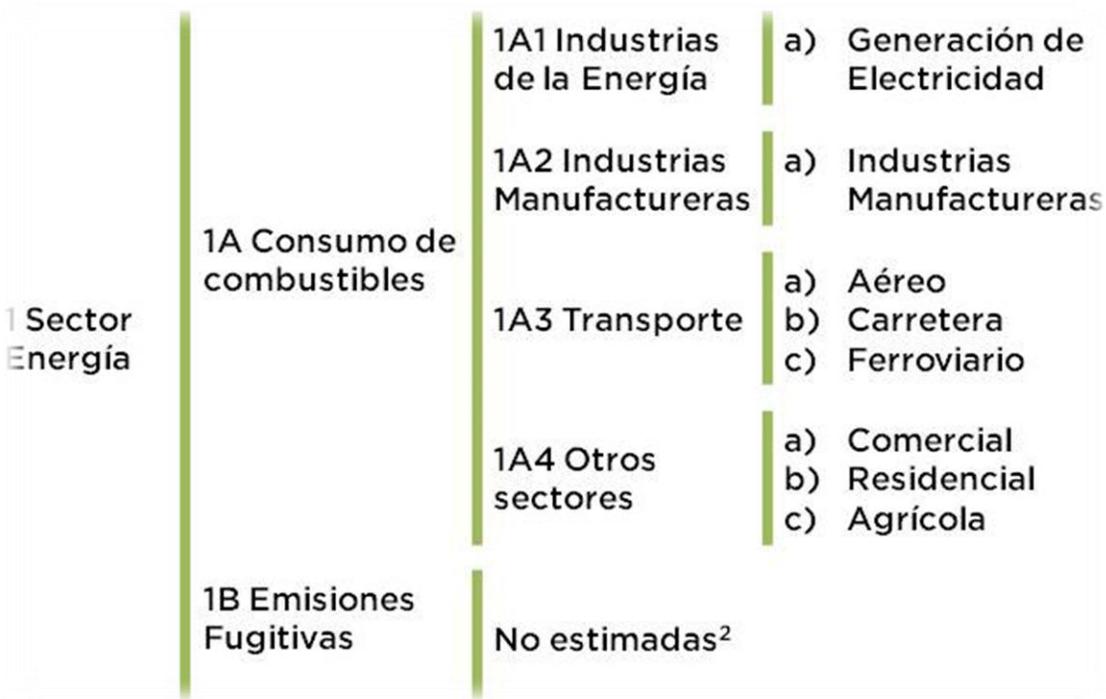


Figura 3. Estructura de la categoría de energía.

En el presente inventario se describen los datos de actividad empleados, las fuentes de emisión para cada subsector, la metodología y los factores de emisión empleados, los resultados obtenidos, una breve discusión de los mismos y las conclusiones.

Las estimaciones de emisiones fueron reportadas por contaminante y por tipo de combustible, desglosadas para cada subsector (industrias de la energía, industrias

² No estimadas, debido a que estas actividades no se llevan a cabo en la entidad – sólo se realiza el almacenamiento y distribución de los combustibles -.

manufactureras, transporte, residencial, comercial y agrícola, en unidades de Gg de CO₂ equivalentes.

Metodología

En el presente inventario se aplicaron las metodologías propuestas por el documento “*Directrices para el Inventario Nacional de Gases Efecto Invernadero Volumen 3: Manual de Referencia*”, elaboradas por el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC), versión revisada 1996. Aquí, se reconoce un método de cálculo para estimar la cantidad de GEI que se produce por un sector o subsectores de fuente.

La utilización del tipo de metodología se determina, por los árboles de decisiones de la “*Guía de Buenas Prácticas y Manejo de la Incertidumbre*”, basadas en el grado de información con el que se cuenta y la importancia de la categoría de fuente. La forma más sencilla para calcular emisiones es mediante la metodología arriba-abajo Nivel 1 (TIER-1), ya que únicamente se necesita determinar las cantidades finales del consumo por tipo de combustible de los subsectores y multiplicar por los factores de emisión que se señalan en el Manual de Referencia.

Para el cálculo de las emisiones de CO₂ se realizó lo siguiente:

- Se determinó el consumo de combustible utilizado para cada categoría del sector.
- Se realizó la conversión de unidades a TeraJoules (en caso de ser necesario).
- Se seleccionó el factor de emisión adecuado para cada tipo de combustible empleado. (Se utilizan los factores por defecto reportados por el IPCC. Tabla 1.1 del Volumen 3, Manual de Referencia).
- Finalmente se estiman las emisiones de CO₂ mediante las ecuaciones correspondientes utilizando los datos de actividad y los factores de emisión

de las distintas categorías del sector de acuerdo al Método Sectorial del Nivel I descritos en las directrices del IPCC, 1996.

Para el cálculo de las emisiones de los gases distintos al CO₂ (como el CH₄, N₂O, entre otros) se realizó como sigue:

- Se consideran los consumos de combustibles para cada categoría del sector estimadas para el cálculo de las emisiones del CO₂.
- Se selecciona el factor de emisión para cada combustible por cada categoría del sector y por tipo de gas emitido.
- Se estiman las emisiones con el método descrito en las Directrices del IPCC, 1996.

La ecuación correspondiente para el cálculo de las emisiones de Gases Efecto Invernadero (GEI) es:

$$Emisión_{GEI} = Cc_i * FE_i * Factor\ de\ oxi_i$$

Dónde:

Emisión_{GEI} = Emisión de gases efecto invernadero (CO₂, CH₄ y N₂O) en kg de GEI por tipo de combustible. El resultado se expresa en Gg (para convertir los kg a Gg se divide el resultado por 10⁶).

Cc_i = Cantidad de combustible consumida (en TJ); donde i es el tipo de combustible empleado.

FE_i = Factor de emisión de GEI por defecto del combustible i (en kg gas/TJ).

Factor de oxi_i = Factor de oxidación o fracción de carbono oxidado del combustible i.

Datos de Actividad

Los consumos de combustibles reportados para este sector, fueron obtenidos de ASERCA (Apoyos y Servicios a la Comercialización Agropecuaria), PEMEX Refinación Gas y Petroquímica, SEI (Sector de Información Energética), de los Balances Nacionales de Energía, así como de las perspectivas del gas LP, gas natural, petrolíferos y energía reportados para los años 2005, 2006 y 2010 editados por la SENER; de las Cédulas de Operación Integral (COI) reportadas en la Secretaría del Medio Ambiente del Estado de México para los años 2005, 2006 y 2008, y las Cédulas de Operación Anual (COA) del año 2005 y 2008 proporcionadas por la SEMARNAT.

El combustible consumido en el estado por las fuentes de emisión evaluadas en el año 2010 del inventario fue lo equivalente a 402.1 PJ, correspondientes a gas LP, gas natural, diesel, gasóleo, gasolina, turbosina y otros (como el combustóleo, carbón y leña). Siendo los de mayor consumo el gas natural, gas LP y gasolina, respectivamente.

De acuerdo con la Guía del IPCC se consideran las siguientes categorías que incluyen la generación y uso de energía (tabla 5):

Tabla 5. Fuentes consideradas para la categoría de energía.

Fuente	Subcategoría
Fijas de Combustión	Industrias Energéticas
	Industrias Manufactureras
Móviles de Combustión	Transporte Terrestre
	Transporte Aéreo
	Transporte Ferroviario
Otras Categorías	Residencial
	Comercial
	Agropecuario

- **Consumo de combustibles del Sector**

En la siguiente tabla (tabla 6) se puede observar la cantidad consumida por tipo de combustible para los años 2005 y 2010:

Tabla 6. Consumo de combustibles anuales para el Estado de México en TJ.

Combustible	2005	2010
<i>Gas Natural</i>	161,904.18	134,887.57
<i>Gasolina</i>	78,157.86	97,700.45
<i>Gas LP</i>	80,592.89	96,544.69
<i>Diesel</i>	45,014.20	42,615.68
<i>Coque de petróleo</i>	5,682.8	5,462.04
<i>Turbosina</i>	2,374.97	2,407.48
<i>Carbón</i>	7.73	89.26
<i>Combustóleo</i>	2,854.9	4,294.47
<i>Leña</i>	18,785.78	18,109.64
<i>Total</i>	395,375.27	402,111.29

Fuente: Elaboración propia con información de ASERCA, PEMEX SENER, SMAGEM Y SEMARNAT.

Balance de Energía

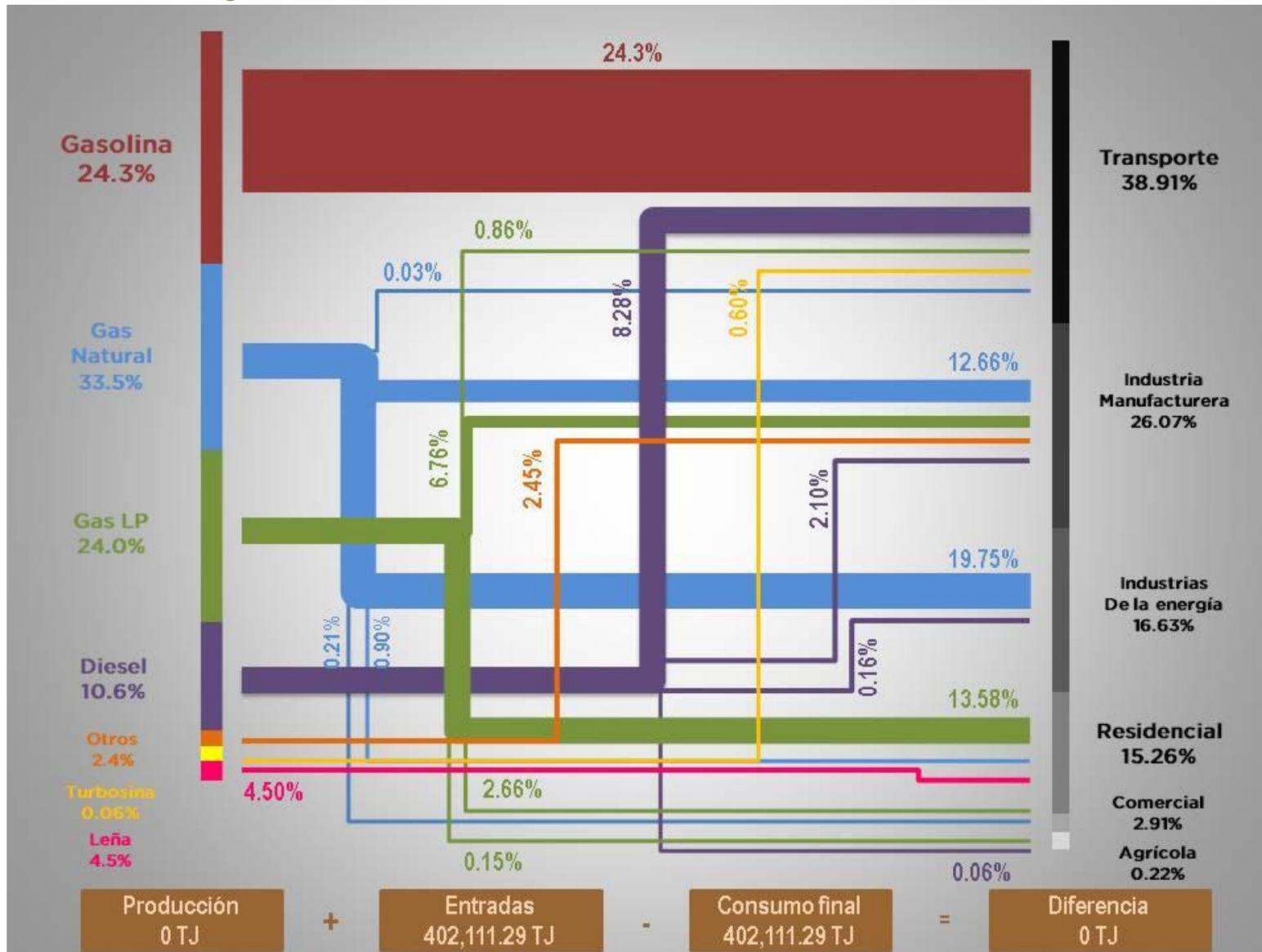


Figura 4. Balance energético estatal, 2010.

- **Consumo de combustibles por subsector**

En cuanto a la demanda de combustible por subsector, se tiene que el mayor consumo corresponde a la categoría de transporte con el 34.1%, luego está la industria manufacturera con el 25.6%, las industrias de la energía con el 18.3%, residencial con el 19.0% y el comercial y la agricultura que sólo consumen el 2.9% y 0.2% del total de la entidad. En la siguiente tabla se muestran los consumos por subsector en TJ al año.

Se observa que el consumo de energía se incrementó de 395,375.27 TJ en el 2005 a 402,111.29 TJ para el 2010, lo que significa un aumento en el consumo del 1.7%.

Tabla 7. Consumo de combustibles por sector en el Estado de México en TJ.

Subsector	Consumo	
	2005	2010
<i>Transporte</i>	118,644.29	137,007.94
<i>Industria manufacturera</i>	110,598.47	102,950.48
<i>Generación de electricidad</i>	85,338.06	73,460.10
<i>Residencial</i>	67,562.38	76,329.50
<i>Comercial</i>	12,278.43	11,525.23
<i>Agrícola</i>	955.42	838.04
	395,375.27	402,111.29

Fuente: Elaboración propia con información de ASERCA, PEMEX SENER, SMAGEM Y SEMARNAT.

En la (figura 5) se muestran los porcentajes de consumo de combustibles por subsector para los años 2005 y 2010.

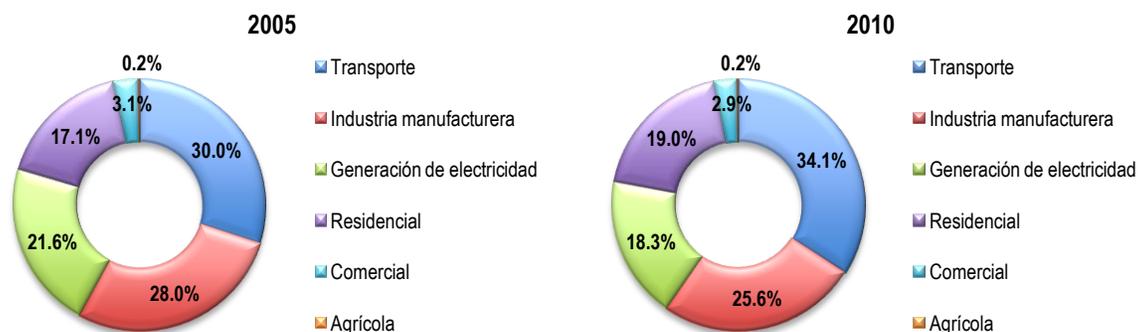


Figura 5. Porcentaje del consumo de combustibles por subsector en el Estado de México, en el 2005 y 2010.

- **Generación de electricidad**

El consumo de combustibles para la generación de electricidad fue de 85,336.28 TJ para el 2005 y de 73,460.10 TJ en el 2010, siendo el gas natural el principal combustible utilizado, la Comisión Federal de Electricidad es la que más consumo tiene con el 72.5% (Figura 6). Así mismo se observa un decremento en el consumo de 13.9%.

Tabla 8. Consumo de combustibles en las industrias de la energía en TJ.

Subsector	Combustible	Consumo	
		2005	2010
<i>Generación de electricidad</i>	Gas Natural	85,336.28	73,236.59
	Diesel	0.00	223.51
<i>Comisión Federal de Electricidad (CFE)</i>	Gas Natural	63,213.54	53,275.50
<i>Generadoras de Energía (antes LyFC)</i>	Gas Natural	22,122.75	19,961.09
	Diesel	0.00	223.51
		85,336.28	73,460.10

Fuente: Elaboración propia con información de SENER, SMAGEM y SEMARNAT.

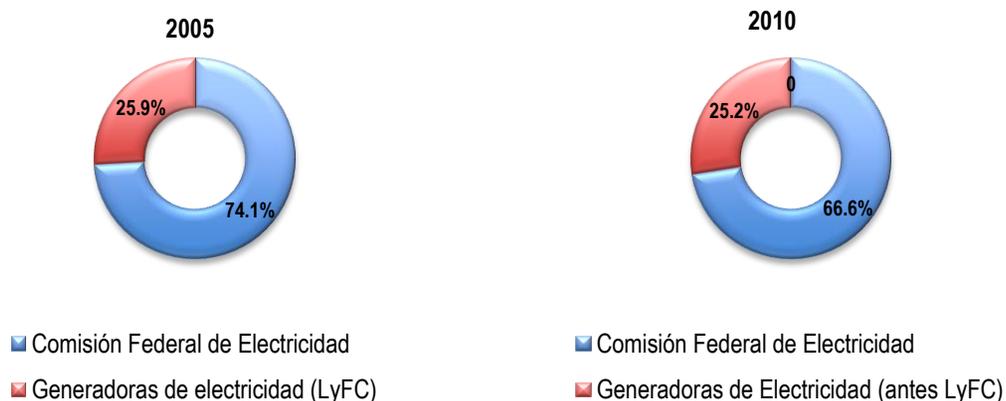


Figura 6. Porcentaje del consumo de los combustibles en las industrias de la energía.

- **Industrias manufactureras**

El consumo de combustibles del sector industrial se muestra en la siguiente tabla. Este consumo tuvo un decremento de 6.9% del 2005 al 2010, al pasar de 110,598.47 TJ a 102,950.48 TJ. En el 2010 el combustible más empleado fue el gas natural con 55.43% del total, seguido del gas LP con 26.4%, otros combustibles (como el combustóleo, carbón y coque de petróleo) con el 9.5% y finalmente el diesel con 8.6%.

Tabla 9. Consumo de combustibles en el sector industrial en TJ.

Combustible	Consumo		
	2005	2010*	
Gas Natural	73,038.68	57,061.82	
Gas LP	13,505.02	27,175.04	
Diesel	15,509.38	8,867.85	
Otros	<i>Combustóleo</i>	2,854.9	4,294.47
	<i>Carbón</i>	7.73	89.26
	<i>Coque de petróleo</i>	5,682.8	5,462.04
		110,598.47	102,950.48

Fuente: Elaboración propia con información de SMAGEM y SEMARNAT.

*Datos de actividad correspondiente al año 2008.

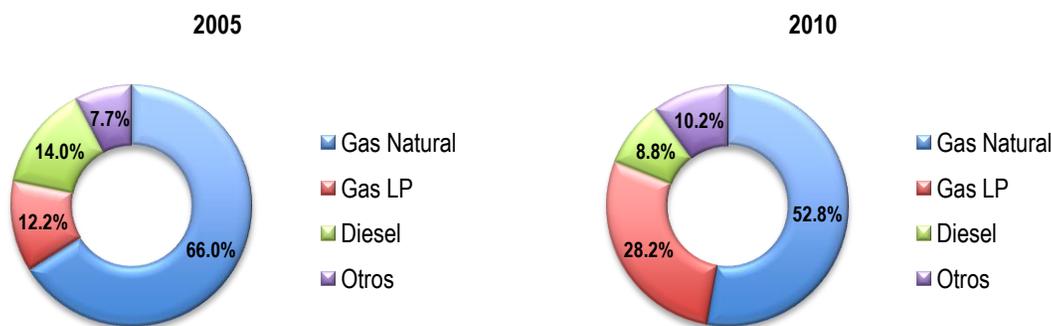


Figura 7. Porcentaje del consumo de los combustibles en las industrias manufactureras del Estado de México.

El consumo de combustible por las diferentes actividades industriales se presenta en la tabla 10 y los porcentajes en las gráficas de abajo, donde se observa que la industria alimenticia, bebidas y tabaco consumen 19.5% del total, la del papel y productos minerales no metálicos el 17.9% y 17%, respectivamente, la industria química el 14.6%, los productos metálicos maquinaria y equipo el 11.9%, las industrias metálicas básicas el 10.3% y el resto de las industrias el 8.7% (como la industria textil, otras industrias manufactureras y la industria de la madera con 4.5%, 4.2% y 0.2%) para el año 2010 (Figura 8).

Tabla 10. Consumo de combustibles por las industrias manufactureras en TJ en el Estado de México para los años 2005 y 2010.

Subsector	Consumo	
	2005	2010
Industria alimenticia, bebidas y tabaco	9,462.04	18,827.35
Industria textil	2,853.26	4,300.24
Industria de la madera	40.32	208.68
Papel y productos de papel, imprentas y editoriales	20,747.67	17,237.32
Industria química	21,940.47	14,091.97
Productos minerales no metálicos	24,869.80	16,378.73
Industrias metálicas básicas	23,014.77	9,958.90
Productos metálicos, maquinaria y equipo	5,584.50	11,487.36
Otras industrias manufactureras	2,083.86	3,876.77
	110,596.69	96,367.32

Fuente: Elaboración propia con información de SMAGEM y SEMARNAT.
(*No incluye la autogeneración)

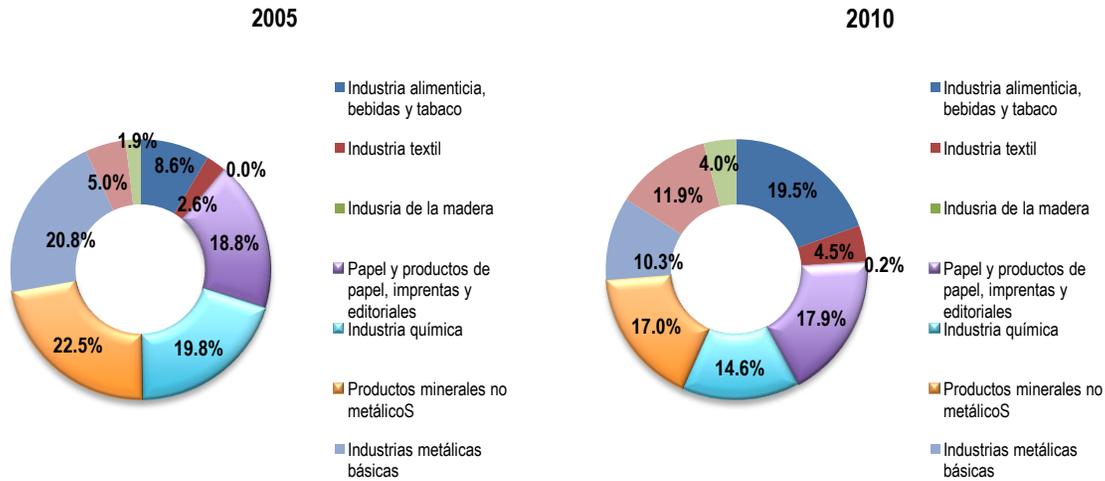


Figura 8. Porcentaje de consumo de los combustibles en las industrias manufactureras para los años 2005 y 2010 para el Estado de México.

- **Residencial**

El consumo de combustibles del subsector residencial se muestra en la tabla 11. Dicho consumo aumentó 19.3%, de 48,776.59 TJ en el 2005 a 58,219.86 TJ en el 2010. El gas licuado de petróleo representó el 93.8% del consumo en el 2010. El consumo de leña tuvo un decremento del 3.7% ya que en el 2005 se consumieron 18,785.78 TJ, mientras que en el 2010 fueron 18,109.64 TJ.

Tabla 11. Consumo de combustibles en el subsector residencial en TJ.

Combustible	Consumo	
	2005	2010
Gas Natural	2,682.20	3,616.26
Gas LP	46,094.39	54,603.61
	48,776.59	58,219.86
Leña	18,785.78	18,109.64

Fuente: Elaboración propia con información de SENER.

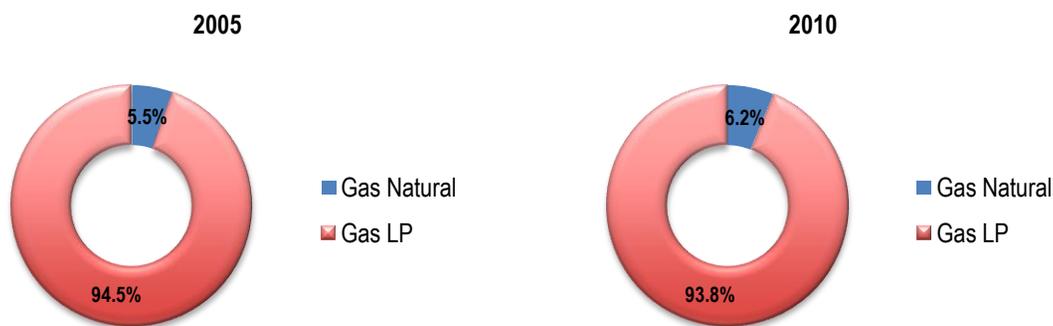


Figura 9. Consumo de Combustibles en el subsector residencial en T.J.

- **Comercial**

La tabla siguiente muestra el consumo de combustibles del subsector comercial (tabla 12). El consumo para el 2005 fue de 12,278.43 TJ en 2005 a 11,525.23 TJ en 2010, lo que representa un decremento del 6.13%. El gas licuado de petróleo es el combustible más empleado ya que se consume el 92.8% del total en el 2010.

Tabla 12. Consumo de combustibles en el subsector comercial en T.J.

Combustible	Consumo	
	2005	2010
Gas Natural	564.67	835.23
Gas LP	11,713.76	10,690.00
	12,278.43	11,525.23

Fuente: Elaboración propia con información de SENER



Figura 10. Porcentaje del consumo de los combustibles en el subsector comercial.

- **Agrícola**

El consumo de combustibles del sector agrícola disminuyó de 955.42 TJ en el 2005 a 838.04 TJ en el 2010, lo que representa un decremento del 12.28%. El principal combustible consumido es el gas licuado de petróleo con un 73.4% del total en el 2010 (tabla 13).

Tabla 13. Consumo de combustible en el subsector agrícola en TJ.

Combustible	Consumo	
	2005	2010
<i>Gas LP</i>	760.63	615.25
<i>Diesel</i>	194.78	222.79
	955.42	838.04

Fuente: Elaboración propia con información de SENER.

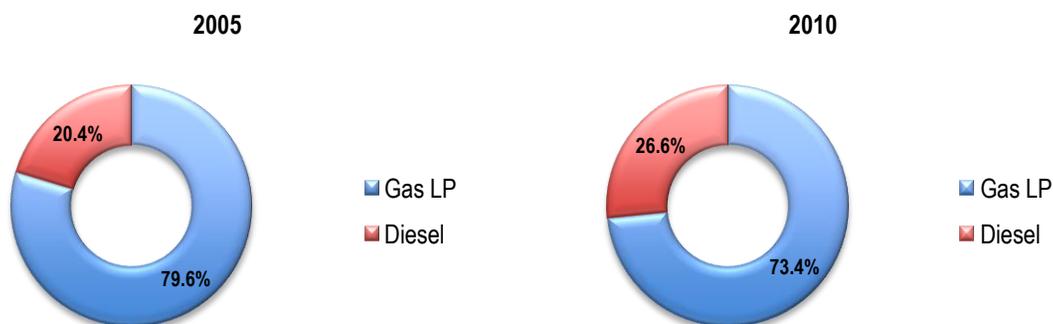


Figura 11. Porcentaje del consumo de combustible en el subsector agrícola.

- **Transporte**

En el 2010 el 98% de los combustibles fue consumido por el Autotransporte; el resto se repartió entre los modos Aéreo, con el 1.75% y sólo el 0.2% el Ferroviario (Tabla 14).

Tabla 14. Consumo de combustibles en el subsector transporte en TJ.

Subsector	Consumo	
	2005	2010
Autotransporte	115,817.64	134,275.86
Aéreo	2,374.97	2,407.48
Ferroviario	451.69	324.59
	118,644.29	137,007.94

Fuente: Elaboración propia con información de SENER.

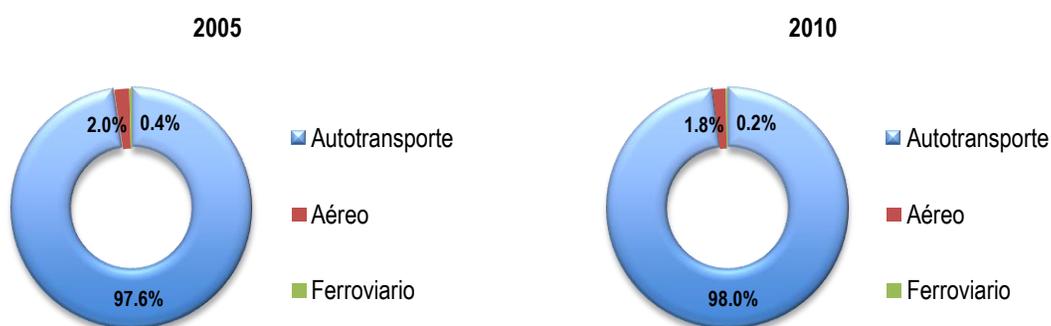


Figura 12. Porcentaje de combustibles en el subsector transporte.

El consumo por tipo de combustible en el subsector transporte, queda como sigue.

Tabla 15. Consumo por tipo de combustible en el subsector transporte en TJ.

Combustible	Consumo	
	2005	2010
Gasolina	78,157.86	97,700.45
Diesel	29,310.03	33,301.54
Gas LP	8,519.10	3,460.79
Gas natural	282.34	137.67
Turbosina	2,374.97	2,407.48
	118,644.29	137,007.94

Fuente: Elaboración propia con información de SENER.

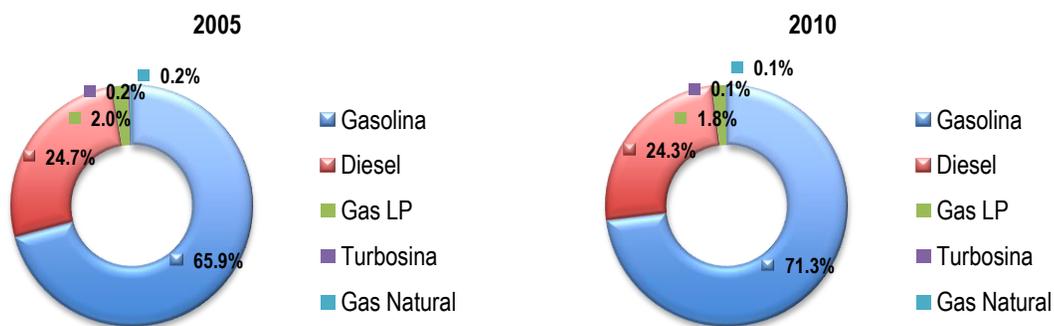


Figura 13. Porcentaje del consumo de tipos de combustibles en el subsector transporte.

Autotransporte

La distribución del autotransporte y el consumo de combustibles se encuentran en la tabla 16. Cabe mencionar que en el 2005 el 80.6% de los vehículos registrados realizaron su verificación vehicular, mientras que en el 2010 solo el 50.38%, además de que la flota entre el 2005 y 2010 aumento el 58.1%.

El consumo de combustibles del subsector transporte aumentó de 78,157.86 TJ en el 2005 a 97,700.45 TJ en el 2010, lo que representa un aumento del 25.0%. El principal combustible consumido es la gasolina que representa un 71.3% del total en el 2010.

Tabla 16. Número de vehículos por tipo.

Tipo de vehículo	2005	2010
	No. de vehículos ¹	No. de vehículos ¹
Autos particulares	1,242,967	2,008,496
Taxis	15,002	80,109
Combis	8,576	24,494
Pick Up	89,156	416,396
Microbuses	8,321	19,293
Autobuses	56,218	30,175
Vehículos ≤3 Ton	1,006	12,978
Tractocamiones	33,149	10,652
Vehículos >3 Ton	3,926	543,935
Motocicletas	14,887	76,785
	1,473,208	3,223,313

Fuente: ⁽¹⁾ Datos del Anuario Estadístico del Estado de México. INEGI.

Ferrovionario

El diesel es el combustible consumido por el transporte ferrovionario, que disminuyó de 451.7 TJ en el 2005 a 324.6 TJ en el 2010, lo que representa un decremento del 28.14% (Tabla 17).

Tabla 17. Consumo de combustibles en TJ. en el subsector ferrovionario.

Combustible	Consumo	
	2005	2010
Diesel	451.7	324.6

Fuente: Elaboración propia con información de SENER.

Aéreo

El consumo de turbosina del subsector aumentó de 2,374.97 TJ en el 2005 a 2,407.48 TJ en el 2010, lo que representa un aumento del 1.4%.

Tabla 18. Consumo de combustibles en TJ. en el subsector aéreo.

Combustible	Consumo	
	2005	2010
Turbosina	2374.97	2407.48

Fuente: Elaboración propia con información de SENER.

Fuentes de información

Los consumos de combustibles reportados para este sector, fueron obtenidos de ASERCA (Apoyos y Servicios a la Comercialización Agropecuaria), PEMEX Refinación Gas y Petroquímica, SEI (Sector de Información Energética), de los Balances Nacionales de Energía, así como de las perspectivas del gas LP, gas natural, petrolíferos y energía reportados para los años 2005, 2006 y 2010 editados por la SENER; de las Cédulas de Operación Integral (COI) reportadas en la Secretaría del Medio Ambiente del Estado de México para los años 2005, 2006

y 2008 y de las Cédulas de Operación Anual (COA) de los años 2005 y 2008 de la SEMARNAT.

En las industrias de la energía la fuente principal de información fueron las prospectivas de los combustibles, los balances nacionales de energía y las bases de datos del sistema de Información energética (SIE) de la SENER para los años 2005, 2006 y 2010 respectivamente.

Para las industrias manufactureras, la fuente principal de información de los consumos de combustibles recopilados fueron las Cédulas de Operación Integral para fuentes fijas de jurisdicción estatal (COI) que ingresan a la Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Estado de México de los años 2005, 2006 y 2008, así como los datos de las Cédulas de Operación Anual (COA) 2005 y 2008 para el caso de las industrias federales consideradas.

La información de los consumos de combustibles recopilados para el subsector residencial, comercial y agrícola, fue básicamente la reportada en las prospectivas de los combustibles, los balances nacionales de energía y del sistema de información energética (SIE) de la SENER y para el caso del consumo de combustible utilizado en la maquinaria agrícola fue de ASERCA (Apoyos y Servicios a la Comercialización Agropecuaria) para los años 2005 y 2010 respectivamente.

La información del consumo de combustible para el subsector transporte fue recopilada de las prospectivas de los combustibles, del sistema de información energética (SIE) y los balances nacionales de energía de la SENER.

Los datos del consumo de combustible para el transporte ferroviario, fueron obtenidos directamente de la prospectiva de petrolíferos para el 2005 y 2010 y del sistema de información energética (SIE) de la SENER.

La longitud de la red ferroviaria pasó de 1,284 km en el 2005 a 1,304 km para el 2010, el volumen de materiales transportados en el 2010 fue de 738,517 toneladas.

Del transporte aéreo, la información del consumo de combustibles fue obtenida de las prospectivas de petrolíferos para el 2006 y 2010 respectivamente, y los datos de las salidas y llegadas se obtuvieron de las estadísticas históricas de operaciones de la Dirección General de Aeronáutica y Civil de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

Cabe mencionar, que los datos de los combustibles que fueron obtenidos de SENER se encuentran en unidades de miles de barriles diarios (MBD) y toneladas (en el caso de la leña), mientras que el resto de la información se obtuvo en metros cúbicos (m³) ó toneladas, por lo que se tuvo que recurrir al manejo de factores de conversión, así como de los poderes caloríficos de los mismos para transformarlos en términos de energía,

Los factores de conversión utilizados fueron los siguientes:

Múltiplos de volumen y peso		
Símbolo	Descripción	Factor
M	Miles	10 ³
MM	Millones	10 ⁶
Equivalencias de masa		
1000 kg = una tonelada métrica		
Equivalencias de volumen		
un metro cúbico = 6.2898 barriles		
un metro cúbico = 31.467 pies cúbicos		
Prefijos métricos		
P Peta = 10 ¹⁵	M Mega = 10 ⁶	
T Tera = 10 ¹²	k kilo = 10 ³	
G Giga = 10 ⁹		

Fuente: SENER. Balance Nacional de Energía, 2010.

Y los poderes caloríficos son:

Combustible	Unidad	2005	2010
<i>Gas Natural</i>	kJ/m ³	38,115	38,863
<i>Gasolina</i>	MJ/bl	4,872	5,097
<i>Gas LP</i>	MJ/bl	3,765	4,256
<i>Diesel</i>	MJ/bl	5,426	5,681
<i>Coque de petróleo</i>	MJ/t	36,675	28,933
<i>Leña</i>	MJ/t	14,486	14,486
<i>Carbón</i>	MJ/t	26,521	26,521
<i>Combustóleo</i>	MJ/bl	6,019	6,364
<i>Turbosina</i>	MJ/bl	5,223	5,564

Fuente: SENER. Balances Nacional de Energía del 2006 y 2010.

Factores de Emisión

Tanto en el Estado de México como a nivel Nacional no se cuenta con valores propios de factores de emisión para el CO₂ para ningún sector. Por lo que para seleccionar los factores de emisión adecuados para calcular el CO₂ se hace con ayuda del Árbol de decisiones de la Guía de las Buenas Prácticas, (Figura 14 y 15) y para seleccionar los valores caloríficos y los factores de emisión de carbono, se utilizan los factores por defecto para cada tipo de combustible obtenidos del Manual de Referencia. En la siguiente tabla se presentan los factores de emisión de carbono utilizados para la estimación de las emisiones de CO₂ por tipo de combustible.

Tabla 19. Factores de emisión de carbono en t C/TJ.

Combustible	Factor de emisión de Carbono
<i>Gas Natural</i>	15.3
<i>Gasolina</i>	18.9
<i>Gas LP</i>	17.2
<i>Diesel</i>	20.2
<i>Coque de petróleo</i>	27.5
<i>Leña</i>	29.9
<i>Carbón</i>	25.8
<i>Combustóleo</i>	21.1
<i>Turbosina</i>	19.5

Fuente: Tabla 1-1 del IPCC, 1996. Volumen 3: Manual de Referencia.

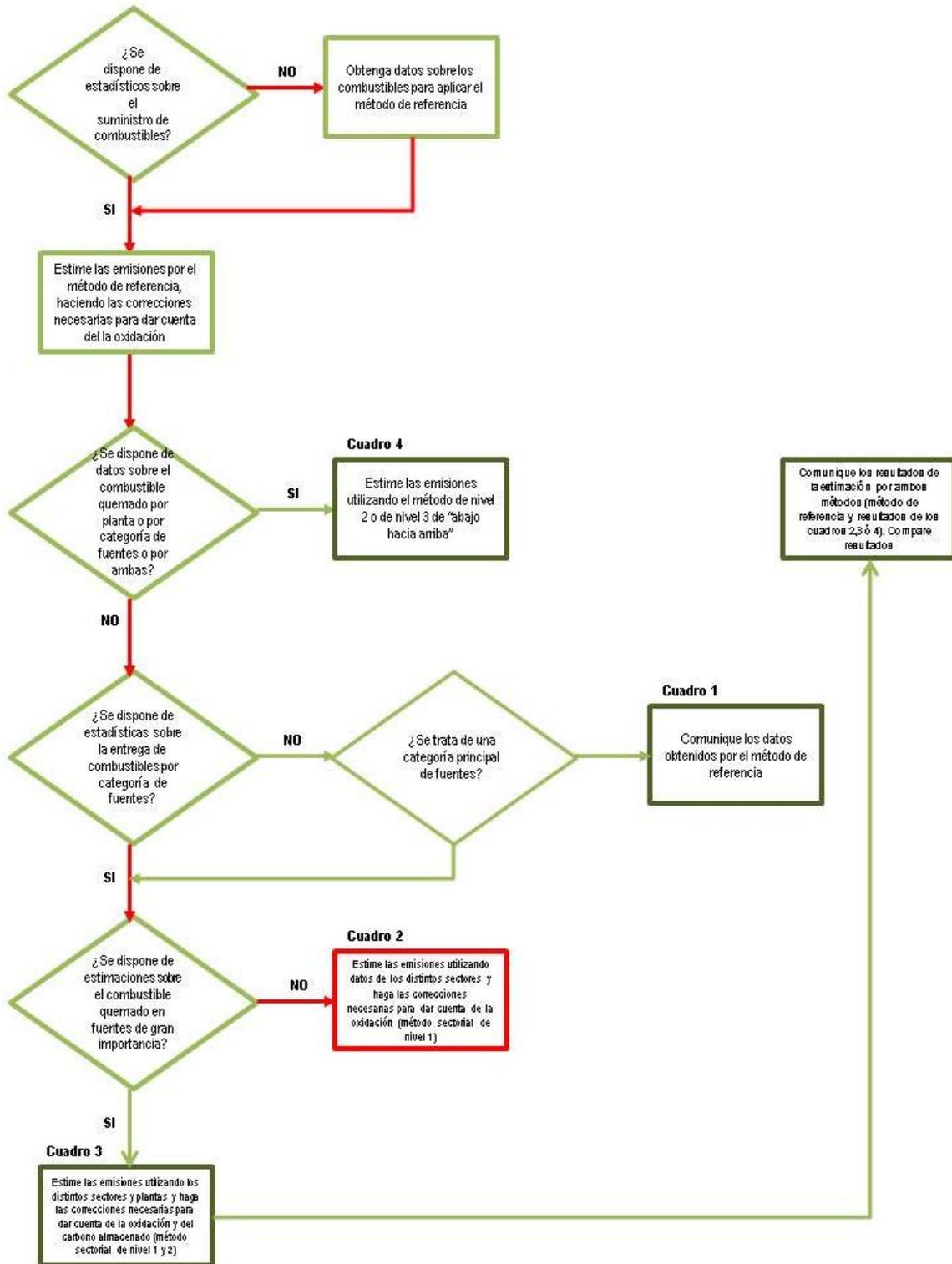


Figura 14. Árbol de decisiones para seleccionar el método de estimación de las emisiones de CO₂ procedentes de fuentes fijas de combustión.

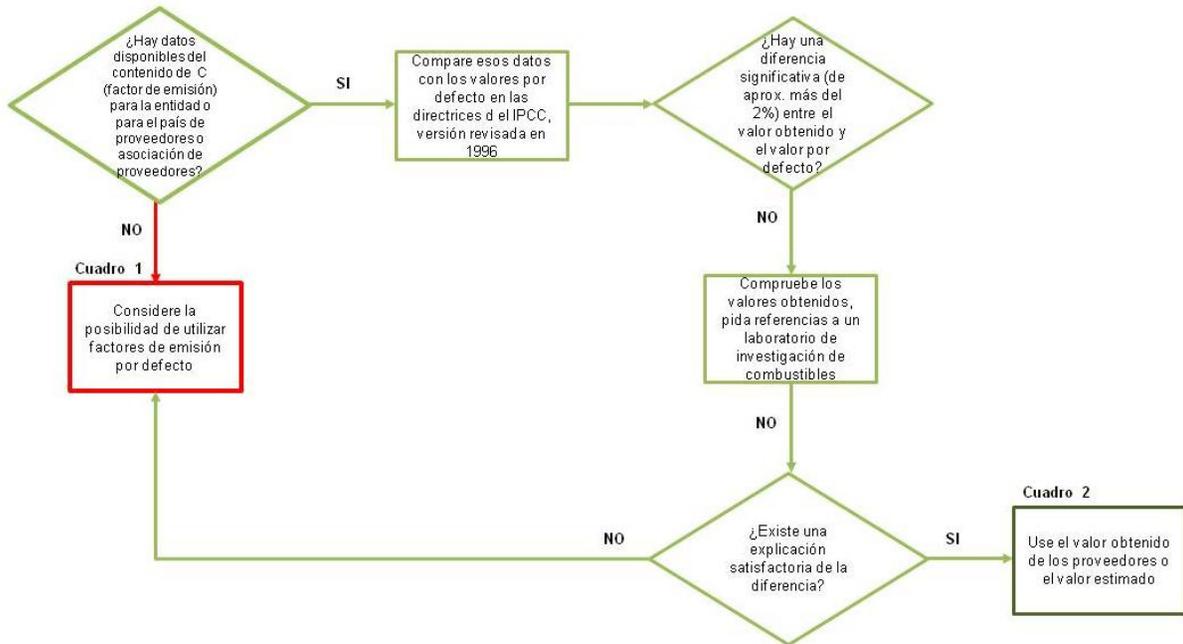


Figura 15. Árbol de decisiones para seleccionar los valores caloríficos de las emisiones de carbono.

De igual manera en la tabla 20 se reporta la fracción de oxidación que utilizan los combustibles reportados en el Manual de Referencia.

Tabla 20. Factores de emisión de carbono en t C/TJ.

Combustible	Fracción de Carbón oxidado
Carbón	0.98
Petróleo y productos del petróleo	0.99
Gas natural	0.995

Fuente: Tabla 1-6 del IPCC, 1996. Volumen 3: Manual de Referencia.

Para seleccionar el método y los factores de emisión adecuados para los subsectores reportados del resto de los contaminantes diferentes al CO₂, se utilizaron los árboles de decisiones aplicables para cada uno, descritos en la Guía de las Buenas Prácticas. (Figura 16).

En la tabla 21 se presentan los factores de emisión para las fuentes fijas (industrias de la energía, industria manufacturera, residencial, comercial y agrícola) para los contaminantes diferentes al CO₂.

Tabla 21. Factores de emisión.

Combustible	Factores de emisión [kg/TJ]				
	CH ₄	N ₂ O	CO	NOx	COVNM
Generación de energía eléctrica					
<i>Gas natural</i>	1	0.1	20	150	5
<i>Diesel</i>	3	0.6	15	200	5
Industrias manufactureras					
<i>Gas natural</i>	5	0.1	30	150.0	5
<i>Diesel</i>	2	0.6	10	200.0	5
<i>Carbón</i>	10	1.4	150	300	20
Residencial					
<i>Gas Natural</i>	5	0.1	50	50	5
<i>Oil</i>	10	0.6	20	100	5
<i>Leña</i>	300	4	5,000.0	100	600.0
Comercial					
<i>Gas Natural</i>	5	0.1	50	50	5
<i>Oil</i>	10	0.6	20	100	5
Agrícola					
<i>Oil (Estacionaria)</i>	10.0	0.6	20	100.0	5.0
<i>Oil (Móvil)</i>	5	0.6	1,000	1,200.0	200.0

Fuente: IPCC, 1996. Volumen 3: Manual de Referencia. Tablas 1-7 a la 1-11.

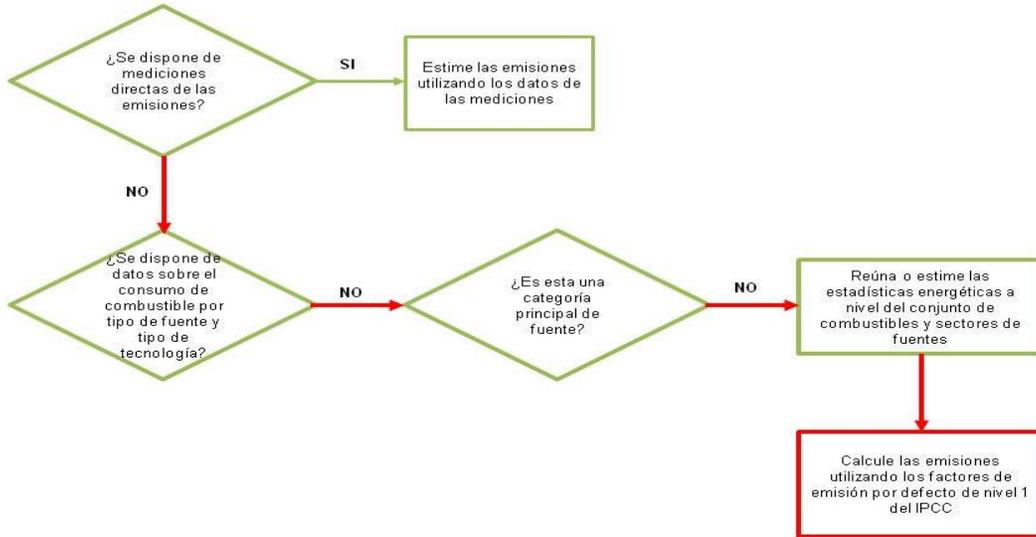


Figura 16. Árbol de decisiones para seleccionar el método de estimación de las emisiones de gases distintos del CO₂ procedentes de fuentes fijas de combustión.

Transporte

En la siguiente tabla se muestran los factores de emisión utilizados para el subsector transporte de los contaminantes diferentes al CO₂, se utilizaron los árboles de decisiones aplicables para cada uno, descritos en la Guía de las Buenas Prácticas (Figura 17, 18 y 19).

Tabla 22. Factores de emisión para el subsector transporte.

Combustible	Factores de emisión [kg/TJ]				
	CH ₄	N ₂ O	CO	NO _x	COVNM
Autotransporte					
Gasolina	20	0.6	8000	600	1500
Diesel	5	0.6	1000	800	200
Gas Natural	50	0.1	400	600	5
Ferrovionario					
Diesel	5	0.6	1000	1200	200
Aéreo					
Turbosina	0.5	2	100	300	50

Fuente: IPCC, 1996. Volumen 3: Manual de Referencia. Tablas 1-7 a la 1-11.

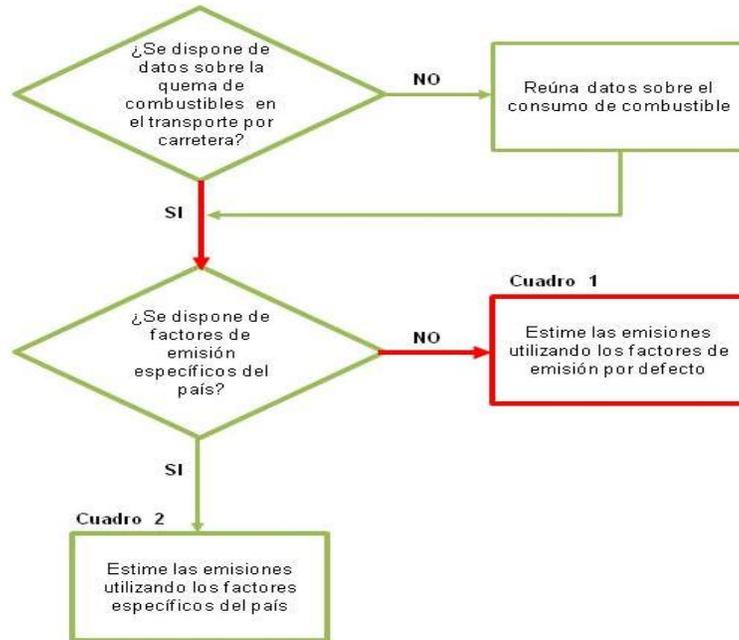


Figura 17. Árbol de decisiones aplicable a las emisiones de CO₂ procedentes de vehículos de carretera.

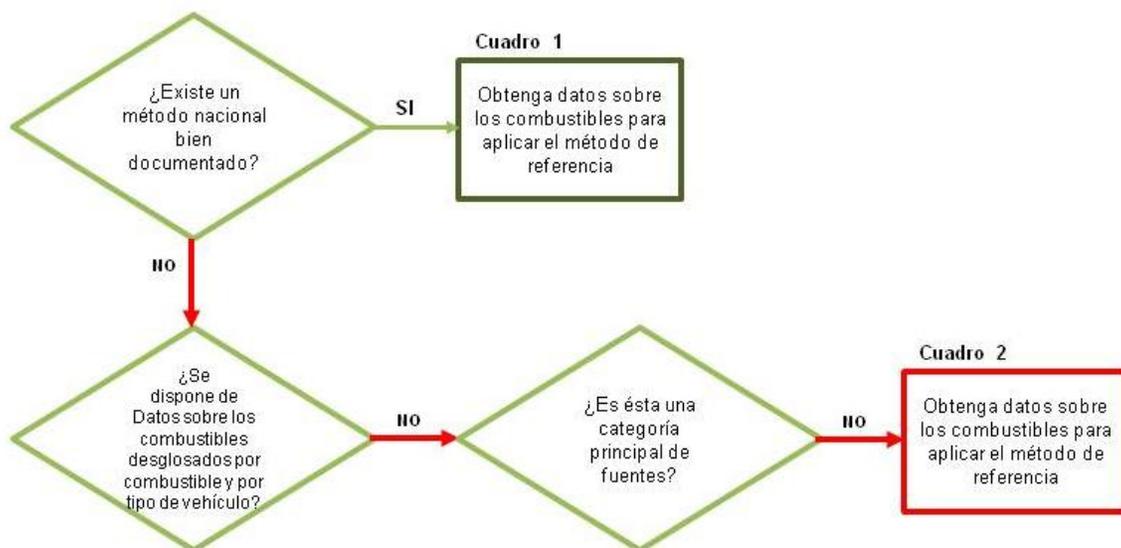


Figura 18. Árbol de decisiones aplicable a las emisiones de CH₄ y N₂O de los vehículos de carretera.

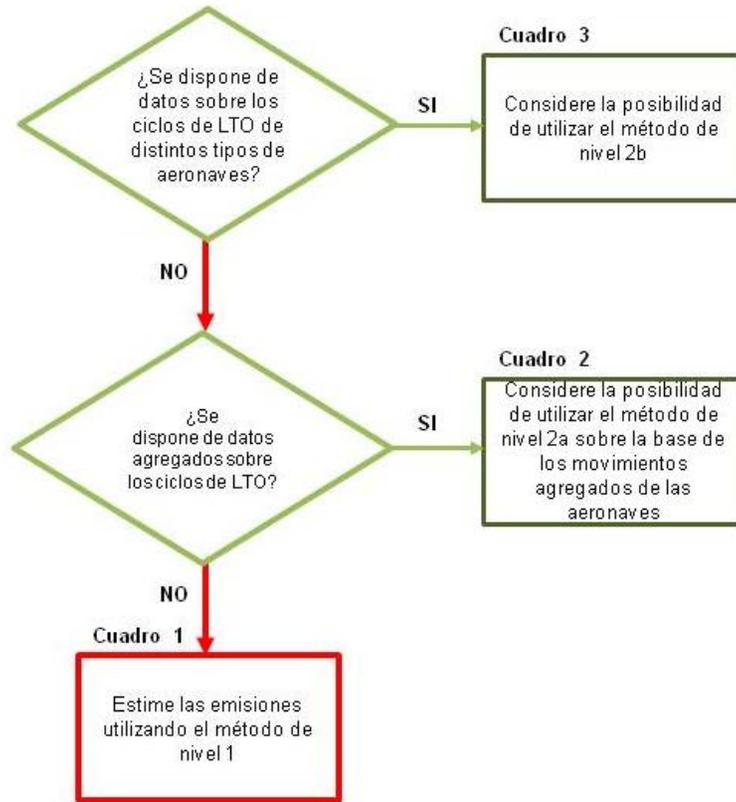


Figura 19. Árbol de decisiones sobre los datos de actividad de las aeronaves.

Resultados

Las emisiones totales de Gases de Efecto Invernadero (GEI) para el sector energía fue de 23,946.4 Gg de CO₂ equivalentes para el 2005 y de 24,706.2 Gg de CO₂ equivalentes para el 2010 (tabla 23). Las emisiones porcentuales por contaminante para el 2010 fueron 98.95% para el CO₂, el CH₄ con el 0.75% y el N₂O con 0.30%.³

³ Los Potenciales de Calentamiento Global utilizados fueron los reportados por el INECC en el Inventario Nacional de Emisiones de GEI de la Quinta Comunicación Nacional ante la CMNUCC, pág. 182, donde: para el CO₂=1, para el CH₄=21 y para el N₂O=310, valores estimados en un horizonte de 100 años.

Tabla 23. Emisiones anuales de GEI en Gg de CO₂ equivalente.

Contaminante	2005	2010
CO ₂	23,691.2	24,446.4
CH ₄	187.2	186.2
N ₂ O	68.0	73.5
Total	23,946.4	24,706.2

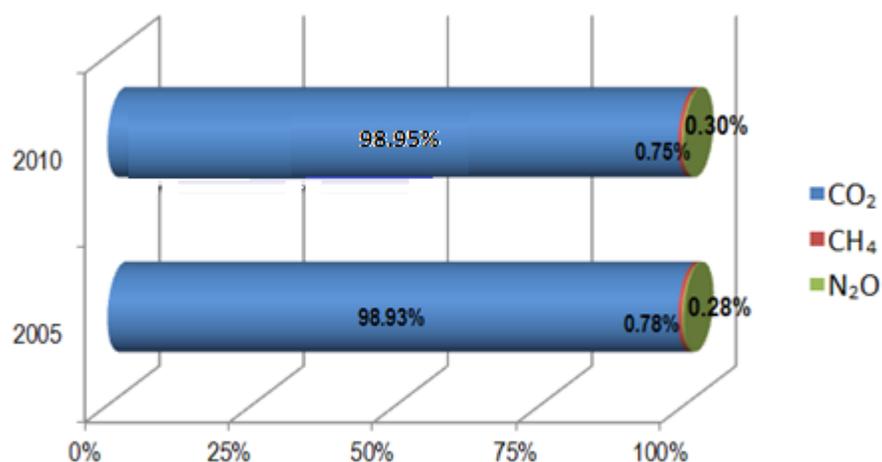


Figura 20. Porcentaje de GEI para los años 2005 y 2010.

En la siguiente tabla se puede observar un incremento del 15.9% en las emisiones del transporte, donde para 2005 se emitieron 8,294.0 Gg de CO₂ equivalente, y para 2010 tenemos una emisión de 9,613.3 Gg de CO₂ equivalente. También en el sector residencial se observa un incremento en un 18.3% del año 2005 al 2010. Mientras que para los demás subsectores se observa que disminuyen las emisiones, sin embargo, en las emisiones totales, tiene mucho peso los sectores que incrementaron, pues éstos hacen que de manera anual aumenten las emisiones totales en un 3.2%.

Tabla 24. Emisiones anuales de GEI por subsector.

Emisiones en Gg de CO ₂ equivalentes		
	2005	2010
Industrias de la energía	4,767.9	4,108.3
Industria manufacturera	6,866.8	6,441.3
Transporte	8,294.0	9,613.3
Comercial	767.6	718.4
Residencial	3,187.9	3,769.8
Agrícola	62.1	55.1
TOTAL	23,946.4	24,706.2

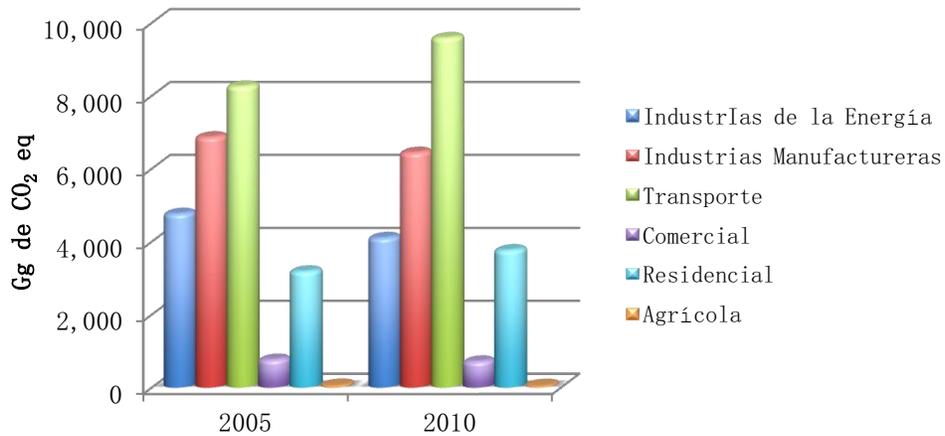


Figura 21. Emisiones anuales en Gg de CO₂ equivalentes por subsector para los años 2005 y 2010.

En cuanto a las emisiones por tipo de subsector (Figura 22) se tiene que en el 2005 el transporte emitió 34.64%, seguido de la industria manufacturera con un 28.68%, la industria de la energía con 19.91%, mientras que el sector residencial emite 13.31% y por ultimo con 3.21% y 0.26% los sectores comercial y agrícola, respectivamente. Para 2010, aumenta el transporte a 38.91%, así como el subsector residencial con 15.26% , la industria manufacturera presenta 26.07%, las industrias de la energía con un 16.63% y finalmente con el 2.91% y 0.22% los sectores comercial y agrícola.

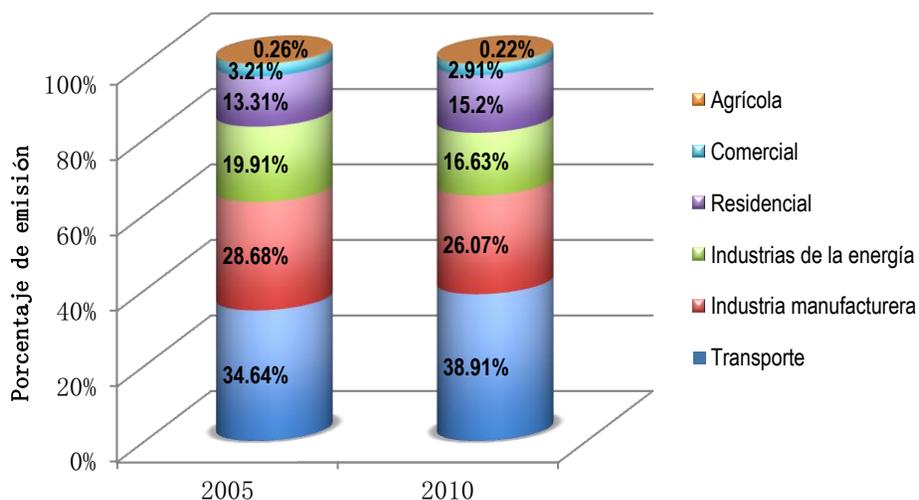


Figura 22. Porcentaje de emisión por tipo de subsector para los años 2005 y 2010.

Como se mencionó anteriormente el consumo de combustibles utilizados por las Industrias de la energía, disminuyó en un 13.9% en el 2010 con respecto al 2005, (Tabla 8). Las emisiones correspondientes a este subsector fueron de 4,767.9 Gg de CO₂ equivalente en el 2005 y 4,108.30 Gg de CO₂ equivalente para 2010.

En cuanto a la industria manufacturera el consumo de combustibles utilizados por este subsector disminuyó en un 12.9% en el 2010 con respecto al 2005. Las emisiones correspondientes a este subsector fueron de 6,866.8 Gg de CO₂ equivalentes en el 2005 y de 6,441.4 Gg de CO₂ equivalentes en el 2010.

Las emisiones del transporte fueron de 8,294.0 Gg de CO₂ equivalentes en el 2005 y de 9,613.3 Gg de CO₂ equivalentes en el 2010, siendo el transporte terrestre el que aporta más, ya que emite el 97.6% del subsector y el 2% y 0.4% restante lo emite el transporte aéreo y ferroviario respectivamente.

En cuanto a las emisiones del subsector residencial fueron de 3,187.9 CO₂ equivalentes en el 2005 y de 3,769.8 Gg de CO₂ equivalentes en el 2010, del subsector comercial fue de 767.6 Gg de CO₂ equivalentes en el 2005 y 718.4 Gg de CO₂ equivalentes en el 2010 y el subsector agrícola de 62.1 Gg de CO₂ equivalentes en el 2005 y 55.1 Gg de CO₂ equivalentes en el 2010.

Tabla 25. Emisiones de GEI del año 2005 por subsector.

Subsector		Emisiones en Gg de CO ₂ equivalentes			
		2005			
		CO ₂	CH ₄	N ₂ O	TOTAL
Industrias de la energía		4,763.4	1.8	2.6	4,767.9
Industria manufacturera		6,848.3	9.2	9.3	6,866.8
Transporte	Terrestre	8,025.9	45.1	20.2	8,091.2
	Aéreo	168.1	0.0	1.5	169.6
	Ferrovionario	33.1	0.0	0.1	33.3
Comercial		762.9	2.5	2.2	767.6
Residencial		3,027.7	128.3	32.0	3,187.9
Agrícola		61.7	0.2	0.2	62.2
					23,946.4

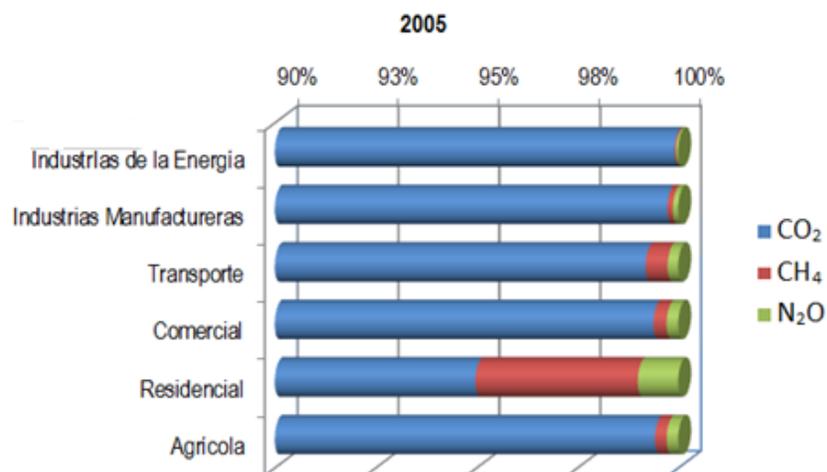


Figura 23. Porcentaje de emisiones de GEI del año 2005 por subsector.

Tabla 26. Emisiones de GEI del año 2010 por subsector.

Subsector	Emisiones en Gg de CO ₂ equivalentes				
	2010				
	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	TOTAL	
Industrias de la energía	4,104.4	1.6	2.3	4,108.3	
Industria manufacturera	6,423.1	7.9	10.3	6,441.3	
Transporte	Terrestre	9,344.8	48.3	24.4	9,417.5
	Aéreo	170.4	0.0	1.5	171.9
	Ferrovionario	23.8	0.0	0.1	23.9
Comercial	714.1	2.3	2	718.4	
Residencial	3,611.1	125.9	32.7	3,769.7	
Agrícola	54.8	0.2	0.2	55.1	
				24,706.2	

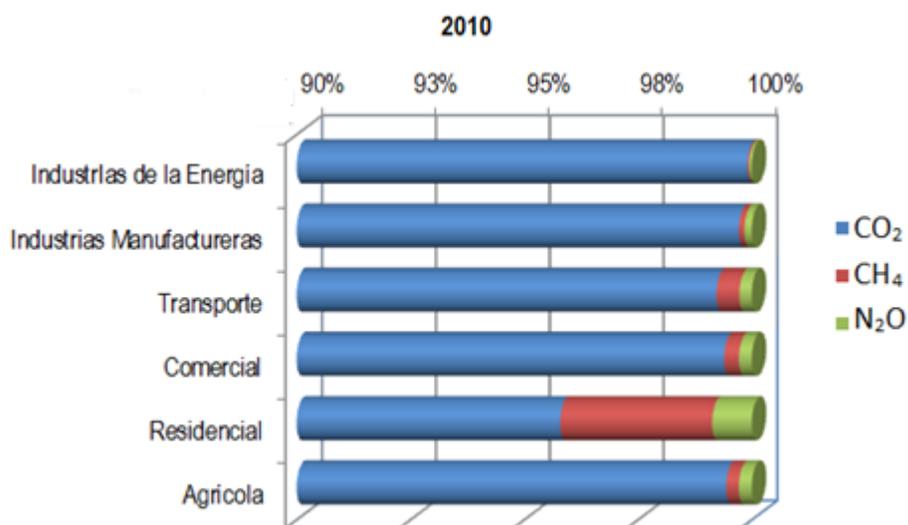


Figura 24. Porcentaje de emisiones de GEI del año 2010 por subsector.

Discusión de Resultados

Para el caso de las emisiones de CO₂ procedentes del sector energético derivado de la quema de combustibles fósiles por el proceso de combustión aumentó de 23,946.4 Gg a 24,706.2 Gg durante el año 2005 y 2010, lo que significó un porcentaje de 3.2%. El transporte representó el 38.91% del total de emisiones mientras que las industrias de la energía contribuyeron con un 16.63% y las industrias manufactureras con el 26.07% para el año 2010. Del 38.91% de emisiones de CO₂ correspondiente al transporte, el 97.6% proceden del transporte terrestre, ya que como es sabido la flota vehicular en la entidad crece de una manera acelerada. La gasolina es uno de los combustibles que más se utiliza en este subsector y es el principal causante de las emisiones.

Las emisiones de las industrias manufactureras es el segundo subsector en cuanto a las emisiones de CO₂, mismas que se redujeron en un 6% entre el 2005 y 2010, así mismo el consumo de combustibles para este subsector disminuyó en un 12.9%. El gas natural fue el combustible que más se consumió y aporta más del 75% de las emisiones. Para este subsector resulta complejo el obtener los datos del consumo de combustibles de todas las industrias por lo que se optó por realizar un análisis de las Cédula de Operación Integral que ingresan los responsables de las industrias manufactureras, así mismo se complementó con la información del consumo de combustibles de la industria federal, que fue obtenida con datos de las Cédulas de Operación Anual (COA) proporcionados por SEMARNAT.

Las industrias energéticas en cuanto a las emisiones de CO₂ disminuyeron un 13% entre el 2005 y 2010, con una emisión en Gg de CO₂ equivalentes de 4,767.8 y 4,108.3 para esos años. Dentro de este sector, las emisiones de CO₂ que proceden de la Comisión Federal de Electricidad es mucho mayor que la de las generadoras de electricidad. Cabe destacar que tanto el consumo de combustibles

como las emisiones disminuyeron. El gas natural es el principal combustible utilizado, mientras que el diesel se utiliza en menor proporción. Es importante hacer notar que la disminución de las emisiones puede deberse a la desaparición de Luz y Fuerza del Centro (LyFC), además de que eso dio lugar al incremento de los pequeños autogeneradores.

El sector residencial incrementó sus emisiones de CO₂ de 3,187.9 a 3,769.8 Gg de CO₂ equivalentes correspondiente al 18.9%. En el 2010 más del 80% de las emisiones de CO₂ provienen del consumo de gas LP. El consumo del gas LP se ha incrementado en un 15.6% y esto se lo podríamos asumir a que la población en las zonas metropolitanas y sus áreas urbanas que se encuentran ubicadas en la entidad se han incrementado. Con respecto al consumo de leña se ha observado que su uso va decreciendo gradualmente.

En el sector comercial las emisiones de CO₂ fueron de 767.6 Gg en el 2005 y 718.4 Gg para el 2010 lo que significó una disminución del 6.5%.

Con respecto al área agrícola las emisiones de CO₂ también tuvieron una disminución del 11.2% teniendo 62.2 Gg en el 2005 y 55.2 Gg en el 2010.

En cuanto a las emisiones de metano (CH₄) generadas en el sector energía se tiene que disminuyeron un 0.5% al pasar de 187.2 a 186.2 Gg de CO₂ equivalentes del 2005 al 2010, siendo el sector residencial el principal emisor .

La emisiones de óxido nitroso (N₂O) en Gg de CO₂ equivalentes fueron de 68.0 el 2005 y 73.5 Gg de CO₂ equivalentes en el 2010 lo que representa aumento del 8.2%. Los principales sectores que aportan emisiones son el residencial y el transporte.

Conclusiones

- El inventario de emisiones realizado para la entidad se llevó a cabo mediante los consumos de combustibles para cada subsector como fueron: las industrias de la energía, la industria manufacturera, el transporte, así como los sectores residencial, comercial y agrícola. Estos subsectores en el 2010, consumieron 402.1 PJ de combustibles fósiles (gas natural, gas LP, diesel, entre otros), siendo el gas natural, la gasolina y el gas LP los combustibles más consumidos.
- Las emisiones de Gases Efecto Invernadero en unidades de Gg equivalentes de CO₂ fueron de 24,706.2.
- Los combustibles que más aporte de emisiones tuvieron fueron la gasolina, el gas natural y gas LP.
- El sector transporte es el que mayor aporte de emisiones tiene, ya que emite el 38.91% del total, seguido de las industrias manufactureras con el 26.07%, las industrias de la energía con 16.63%, el subsector residencial con el 15.26% y el resto de los subsectores (comercial y agrícola) con el 2.91% y 0.22%. Dentro de este sector se puede generar un área de oportunidad para evaluar las emisiones por tipo de vehículo y por tipo de tecnología del mismo.
- Las industrias manufactureras aportan el 26.1% de las emisiones totales de este sector, ocupando el segundo lugar, por lo que es necesario realizar un diagnóstico de las industrias ubicadas dentro de la entidad y establecer medidas encaminadas a obtener un mayor cumplimiento ambiental que permita incrementar el censo industrial para precisar en las emisiones evaluadas, así como enfocar las medidas de reducción de emisiones a las zonas industriales identificadas.

- En las industrias de la energía se genera el 16.6% (4,108.30 Gg de CO₂ equivalentes), la CFE emite el mayor porcentaje de emisión y en menor cantidad las generadoras de energía (antes Luz y Fuerza del Centro).
- Los subsectores residencial, comercial y agrícola el porcentaje de emisiones con respecto al total del sector fue de 15.3%, 2.9% y 0.22%, siendo las actividades domésticas las que más contaminan.
- Los subsectores que causen mayor impacto en las emisiones de GEI (como es el caso del transporte, las industrias de la energía, las industrias manufactureras y el residencial), serán considerados de prioridad en el desarrollo del PEACC en el apartado de mitigación y líneas de acción para la adaptación ante este fenómeno de cambio climático.

Procesos Industriales



Responsables:

Lic. Pablo Escamilla Báez

Biól. Angélica Núñez Rico

Revisores

M. en C. Xóchitl Cruz Núñez

Dr. José Antonio Benjamín Ordóñez Díaz

Panorama General

Algunas de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero son producidas por una gran variedad de actividades industriales. El sector de procesos industriales considera las emisiones generadas en la producción y uso de minerales, industria química, producción de metales, producción de papel, alimentos y bebidas, así como la producción y consumo de hidrofluorocarbonos, perfluorocarbonos y hexafluoruro de azufre, es importante señalar que no toma en cuenta la quema de combustibles fósiles en el proceso productivo.

Los GEI de las actividades industriales, se originan bajo la forma de subproductos. Estas emisiones no son producidas como consecuencia del consumo energético sino debido al proceso industrial en sí, es decir, las materias primas son transformadas químicamente de un estado a otro y esta transformación frecuentemente produce emisiones de GEI tales como dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O). Sus características dependerán de varios factores, como la calidad de los combustibles y materias primas empleadas e incluso del tipo de proceso y de la tecnología que se utiliza.

El Estado de México contó con un Producto Interno Bruto (PIB) de 1,172.5 millones de pesos en el 2010, la economía del Estado de México fue la segunda más grande del país. El sector industrial de la entidad se encuentra dividido en cuatro zonas esto es para dar un panorama más detallado de la industria:

- **Zona Poniente** (Tlalnepantla de Baz, Naucalpan de Juárez y Huixquilucan). Su productividad total es comparable en todos los aspectos a la del Distrito Federal (DF), situándose sólo 2% abajo. Los sectores más productivos son la industria del papel, la de los productos metálicos, y la de maquinaria y equipo.
- **Zona oriente** (Nezahualcóyotl, Chalco, Texcoco y sus alrededores) posee dos industrias con un nivel de productividad superior en más de 50% a la

del DF: la producción de papel así como la captación, suministro y tratamiento del agua.

- **Zona Norte** (Cuautitlán y Cuautitlán Izcalli); es la zona más productiva de todo el Valle de México. Industrias como la producción de maquinaria y equipo, la de bebidas y tabaco, la manufactura de productos de metal y equipo de transporte, y la industria alimentaria, presentan un índice de productividad entre 1.5 y 2% mayor que en el DF.
- **Zona Nororiente.** Aquí se localizan algunas de las industrias de mayor valor agregado. La productividad de la construcción y la manufactura de papel es casi cuatro veces superior a la del DF. Otras industrias altamente productivas son la alimentaria y la manufactura de maquinaria.

El sector Procesos Industriales se divide en los subsectores: Productos minerales, industria química, producción de metales, otras industrias, consumo de halocarburos y hexafluoruro de azufre, y uso de solventes y otros productos (IPCC, 1996). En el presente inventario se muestran los resultados de las emisiones derivadas de los 4 primeros subsectores, para los años 2005 y 2010.

Metodología

Las emisiones generadas por el sector Procesos Industriales fueron calculadas con base a la metodología propuesta por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) versión 1996, en donde se señala el tipo de producto y los GEI's asociados a su producción. Se llevó a cabo el llenado del formato de registro, ligado al archivo Overview y los factores de emisión ocupados para el llenado de las hojas de cálculo de éste sector fueron los sugeridos por el IPCC 1996.

Las emisiones de GEI's que se contabilizan incluyen al CO₂, perfluorocarbonos (PFC) y hexafluoruro de azufre (SF₆). También se emiten otros gases

denominados precursores de ozono, como son el monóxido de carbono (CO), los óxidos de nitrógeno (NOx), los compuestos orgánicos volátiles diferentes del metano (COVDM) y el bióxido de azufre (SO₂).

Los árboles de decisiones ilustran de manera determinar el método a utilizar para identificar las categorías principales de fuentes y corresponden a la guía de Buenas Prácticas del año 2000. En este caso los árboles de decisiones empleados para el sector procesos industriales fueron los siguiente:

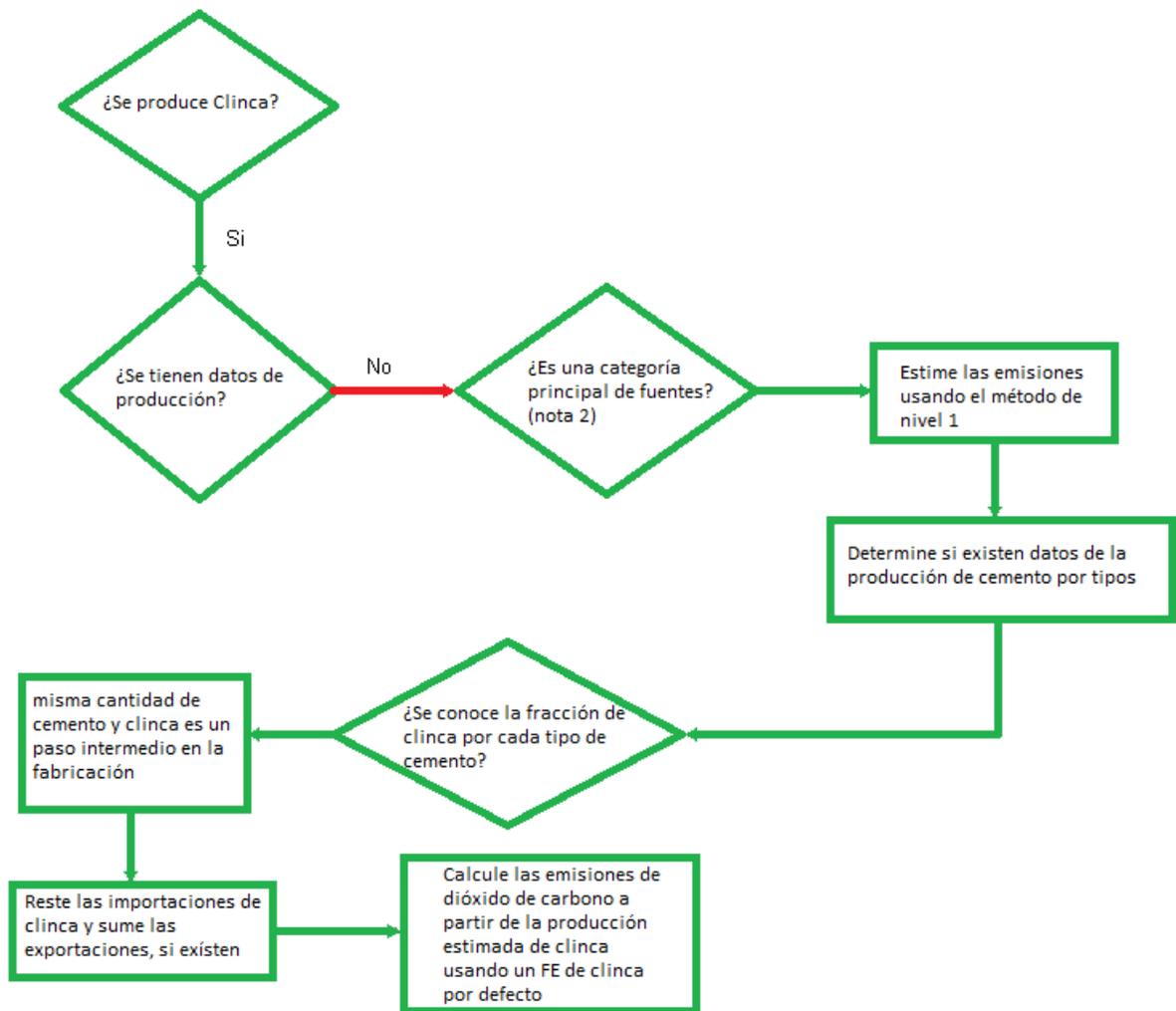


Figura 25. Árbol de decisión para estimar las emisiones de CO₂ procedentes de la producción de cemento.

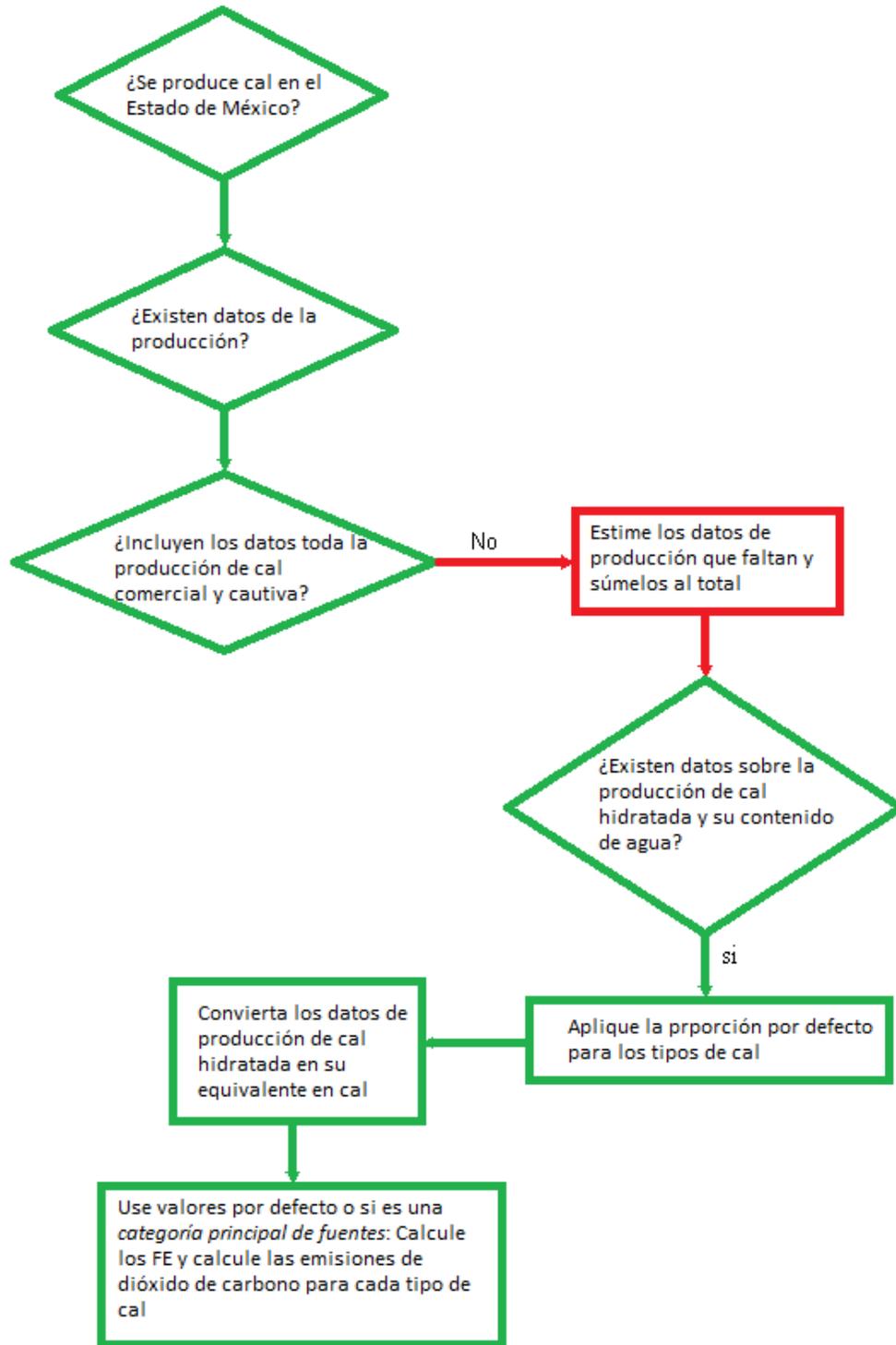


Figura 26. Árbol de decisión para la producción de cal.

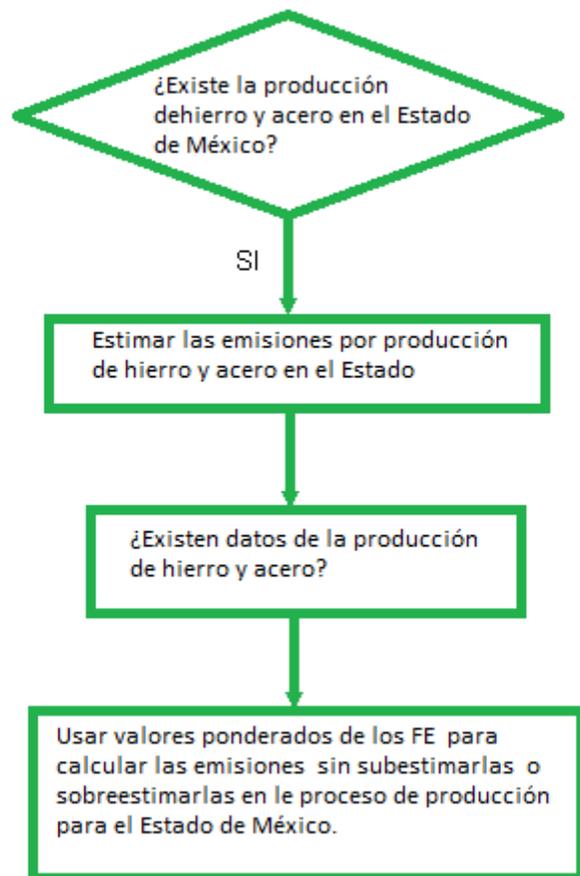


Figura 27. Árbol de decisión para la producción de hierro y acero.

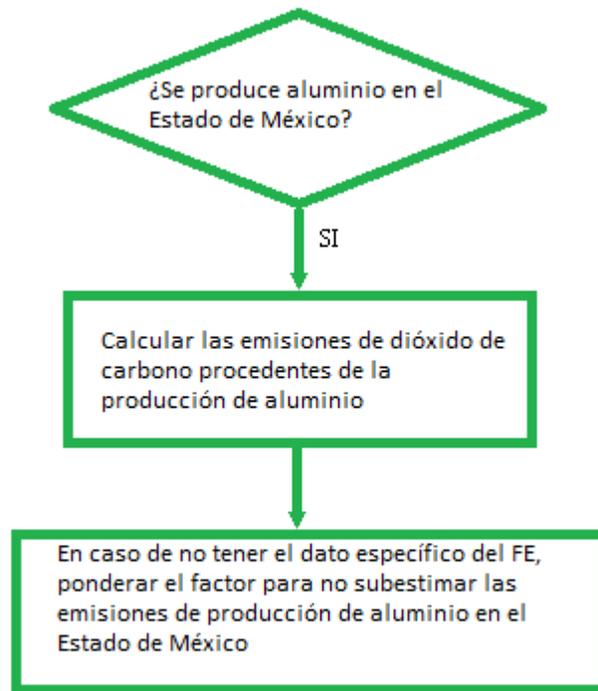


Figura 28. Árbol de decisión para la producción de aluminio.

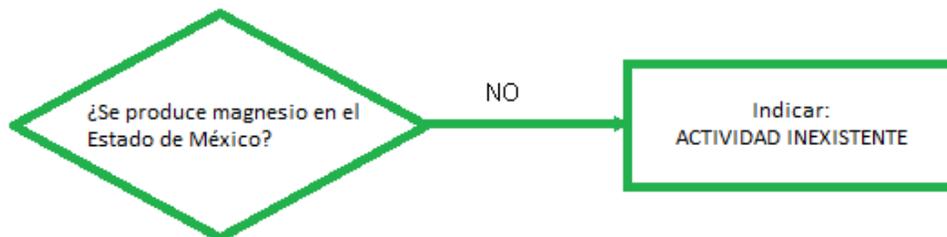


Figura 29. Árbol de decisión para la producción de magnesio.

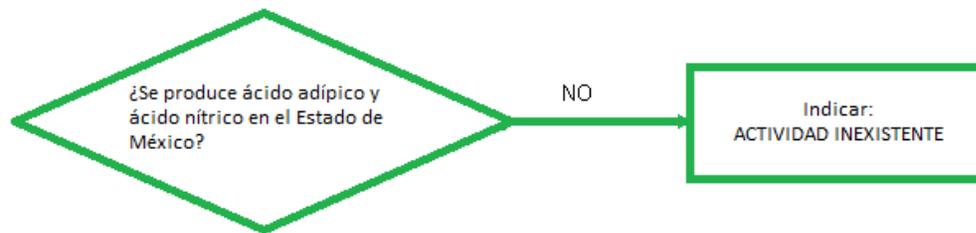


Figura 30. Árbol de decisión para las emisiones de N₂O procedentes de la producción de ácido adípico y ácido nítrico.

Datos de Actividad

Productos Minerales

En esta categoría se estiman las emisiones procedentes de la producción de cemento, cal, material para pavimentación asfáltica y de vidrio así como de la utilización de piedra caliza.

Las emisiones de CO₂ en esta categoría, para el Estado de México se derivan de:

- **Fabricación de cemento;** emisiones que dependen de la fracción de clínker producido y en el contenido de Óxido de calcio (CaO) en el clínker. También se generan emisiones de Dióxido de azufre (SO₂) debido al contenido de azufre en el combustible y en las materias primas. Al no contar con la producción de clínker de la entidad se consideraron todas las clases de cemento producidas, incluyendo el mortero (COA 2005 y 2008).

- **Producción de cal;** el CO₂ se emite por la calcinación del carbonato de calcio (CaCO₃) en la caliza para producir cal viva (CaO). El hidróxido de calcio se forma al agregar agua al óxido de calcio para que una vez apagada (hidratada) pueda ser utilizada. Para el presente inventario no se contó con información del Estado de México referente a los datos para determinar cuanta cal es producida a partir de dolomita, o de mezcla carbonato de calcio/carbonato de magnesio, por lo que se consideró de manera global la cantidad total anual de óxido de calcio, en cuanto al hidróxido de calcio se hizo el ajuste correspondiente de acuerdo a las directrices del IPCC, 1996. (COA 2005 y 2008).

- **Consumo de piedra caliza (CaCO₃);** La calcinación de los carbonatos a altas temperaturas produce CO₂; en esta sección se abarcan los usos de piedra caliza que no sean el uso de cal en la agricultura y el uso de piedra caliza, en la producción de cemento y cal reportada en la COA 2005 y 2008. El cálculo de cal hidratada se realizó con los valores por defecto contenidos dentro del IPCC,1996 para después sumarlo al total consumido.

- **Consumo de carbonato de sodio;** durante el proceso de producción, la trona (el mineral principal del cual se extrae la ceniza de sosa natural) se calcina en un horno rotatorio de altas temperaturas y se transforma químicamente en carbonato de sodio, en este proceso se genera CO₂ y agua, como productos derivados. Conforme a las Directrices del 1996, las emisiones de CO₂ se generan tanto por la producción como por el consumo de carbonato de sodio; en el Estado de México solo existe consumo, como materia prima (COA 2005-2008).

Las emisiones derivadas de la producción de pavimento asfáltico se producen cuando los asfaltos disueltos o revertidos se licuan al mezclarlos con solventes de petróleo, y por lo tanto, presentan un nivel relativamente alto de emisiones de Monóxido de Carbono (CO) y Compuestos Orgánicos Volátiles Diferentes del

Metano (COVDM) debido a la evaporación del diluyente. No se tiene datos acerca de las toneladas ni la superficie pavimentada en el Estado de México, pero se partirá del supuesto que el total de asfalto producido es igual al total utilizado en la pavimentación (COI 2005-2010).

- El vidrio comercial se constituye casi enteramente de vidrio de cal sodada, que está compuesto de sílice (SiO_2), óxido de sodio (Na_2O) y cal (CaO), con pequeñas cantidades de alúmina (Al_2O_3) y otros álcalis y tierras alcalinas, además de algunos ingredientes menores. La fibra de vidrio para el aislamiento térmico posee una composición similar. Durante el proceso de fabricación del vidrio, las principales emisiones corresponden a los Compuestos Orgánicos Diferentes del Metano (COVDM). Gran parte de la información de los diferentes productos de vidrio en el Estado se encuentra en cantidad de piezas, los cuáles pueden variar significativamente en tamaño y peso. Para evitar inexactitud en la conversión de unidades disímiles a toneladas y para desarrollar una serie temporal coherente, únicamente se consideró la producción de vidrio reportados en toneladas. (COI 2005 y 2008).

Tabla 27. Producción y consumo anual total de la categoría productos minerales.^{4, 5}

CATEGORÍA	SUBCATEGORÍAS	PRODUCCION/O CONSUMO TOTAL (t)	
		2005	2008
Productos minerales	Cemento	1950588	2670787.34
	Cal	173973.20 ¹	150416.08
	Piedra caliza	-	171386.704
	Carbonato de Sodio	7402.89	368059.08
	Pavimentación asfáltica	575462	374511.03
	Vidrio	9548.3	686,005.85

¹ Este valor fue corroborado directamente de la fuente de emisión: CAL APASCO, S.A. Se consideró que había una proporción del 95 % óxido de calcio y 5 % de óxido de magnesio.

⁴ COA 2005 y 2008;

⁵ COI 2004 y 2010

La industria petroquímica utiliza combustibles fósiles o productos de refinería de petróleo como alimentación a sus procesos. Para el Estado de México se estiman las emisiones de COVDM provenientes de la elaboración de Cloruro de polivinilo (2008) y Poliestireno (2005,2008). De acuerdo a las Directrices de 1996 las emisiones se obtienen a partir de los datos de volumen de producción ¹.

Tabla 28. Producción y consumo anual total de la categoría Industria química.

CATEGORÍAS	SUBCATEGORÍAS	PRODUCCIÓN (t)	
		2005	2010
Industria química	Poliestireno (2005-2010)	11465	164.00
	Cloruro de polivinilo (2005-2010)	-	36,074.70

¹Fuente: Cédulas de Operación Anual y Cédulas de Operación Integral, de los años mencionados.

Producción de metales.

El CO₂ emitido por la industria del hierro y del acero se debe al uso del carbono para convertir el mineral de hierro en hierro metálico. Las diferentes etapas del proceso de producción de hierro y de acero pueden dar lugar a emisiones de precursores de ozono como NO_x, CO, COVDM y SO₂.

En cuanto a las emisiones de CO₂ generadas por la producción de aluminio primario se deben al consumo de los ánodos de carbono en la reacción que convierte el óxido de aluminio en aluminio metálico; las emisiones de perfluorocarbonos (PFC) de Tetrafluorometano (CF₄) y Hexafluoroetano (C₂F₆), se forman a partir de la reacción del ánodo de carbono con el fundido de criolita durante una situación de perturbación del proceso conocida como efecto anódico. Tanto para la producción de acero/hierro como para la producción de aluminio se utilizó el nivel tier 1b que se basa en la producción y consiste en multiplicar los factores de emisión por defecto por los datos sobre la producción estatal (COI 2005 y 2010). Cabe mencionar que para la producción de aluminio las directrices del IPCC de 1996 se utilizaron también para estimar las emisiones de precursores de ozono CO, NO_x y SO₂.

Se utilizó el mismo criterio que en la producción de vidrio en cuanto a los datos que se encuentran reportados en piezas.

Tabla 29. Producción y consumo anual de producción de metales.

CATEGORÍAS	SUBCATEGORÍAS	PRODUCCIÓN/O CONSUMO TOTAL (t)	
		2005	2010
Producción de metales	Acero/Hierro (2005-2008)	51496.40	72915.20
	Aluminio (2005-2008)	9043.57	187228.86

Fuente: Cédulas de Operación Anual, de los años mencionados.

Otras Industrias.

Se estiman las emisiones indirectas de gases de efecto invernadero asociadas a la producción de celulosa y papel y a la fabricación de bebidas y alimentos.

La producción de celulosa y papel incluye tres pasos principales: reducción de celulosa, blanqueo y producción de papel. El tipo de transformación en celulosa y la cantidad de decolorante utilizado depende del tipo de materia prima y de la calidad deseada del producto final. De acuerdo a las directrices del IPCC de 1996, las estimaciones de las emisiones pueden basarse en la producción total anual de celulosa de papel seco, desglosada de acuerdo al tipo de proceso: El método Kraft es el más difundido a nivel nacional y se emplea comúnmente para fabricar productos de papel resistentes.

La producción de bebidas alcohólicas, la panificación y la elaboración de otros productos generan principalmente emisiones de COVDM.

Se utilizó el mismo criterio que en la producción de vidrio en cuanto a los datos que se encuentran reportados en piezas.

Tabla 30. Producción y consumo anual total de la categoría otras industrias.

CATEGORÍAS	SUBCATEGORÍAS	PRODUCCIÓN/O CONSUMO TOTAL (t)	
		2005	2010
Otras Industrias	Papel (2004-2010)	145374.60	1638838
	Bebidas (2004-2010) (hl):	161858.36	161858.36
	Ron	136060	136060
	Piña Colada	1960	1960
	Licor de Melón	23838.36	23838.36
	Alimentos (2004-2010)	748256.33	481834.27
	Carne	181489.18	185422.12
	Azúcar	75332.03	4696.31
	Margarina y grasas sólidas	14378.58	113498.31
	Pasteles, bizcochos y cereales para el desayuno	11592.98	10993.88
	Pan	731.65	3543.65
	Alimento para animales	463952.9	163011
	Tostado de Café	779	669

Fuentes de Información

La información se adquirió a partir de los datos de operación de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) así como de la Secretaría de Medio Ambiente del Estado de México (SMAGEM) (en el ámbito de sus competencias), que se encuentran recabados dentro de las Cédulas de Operación Anual (COA's) y en las Cédulas de Operación Integral (COI's), respectivamente, de los años 2008 (COA's) y 2010 (COI's). Para el año base, se utilizaron las bases de datos del Registro de Emisiones y Transferencias de Contaminantes (RETC) para el año 2005, así como las mismas Cédulas de Operación Integral, del año 2004⁶; asimismo, el Anuario Estadístico de la Minería, 2009 y 2010.

6 Al no poder contar con información enteramente de los años 2005 y 2010 se trabajó con las bases de datos disponibles, por lo que para las subcategorías productos minerales, Industria química y producción de metales se utilizaron RECT 2005 y COA's 2008, mientras que para la subcategoría Otras Industria se trabajó Con COI'S 2004 y COI'S 2010. Por lo que se hará referencia del año base 2005 como año(2004, 2005) y del año 2010 como (2008, 2010).

Factores de Emisión

Se utilizaron los factores de emisión para cada uno de los GEI's publicados por el IPCC, 1996 sobre la base de la producción anual de cada industria encontrada dentro del Estado. Debido a la falta de información requerida por las directrices del IPCC para una cuantificación más a fondo sobre las emisiones, se consideraron básicamente los factores de emisión por defecto Tier 1; es decir la cantidad total de materiales producidos o consumidos.

Los factores de emisión para la categoría de productos minerales utilizados para la estimación de emisiones fueron los sugeridos en las páginas 2.5, 2.8, 2.9 y 2.12 del Libro de Trabajo de las Directrices del IPCC, versión revisada en 1996.

Tabla 31. Factores de emisión para la categoría productos minerales.

PROCESO	COMPONENTE	FACTORES DE EMISIÓN
Producción de cemento	CO ₂	0.4985 toneladas de CO ₂ / tonelada de cemento
Producción de cemento	SO ₂	0.3 Kg de SO ₂ / tonelada de cemento
Producción de cal	CO ₂	0.79 toneladas de CO ₂ / tonelada de cal
Uso de piedra caliza	CO ₂	440 t de CO ₂ / tonelada de piedra caliza
Uso de carbonato de sodio	CO ₂	415 Kg de CO ₂ / tonelada de carbonato sódico
Pavimentación asfáltica	SO ₂	0.12 Kg / tonelada de asfalto
Pavimentación asfáltica	NOx	0.084 kg / tonelada de asfalto
Pavimentación asfáltica	CO	0.035 Kg / tonelada de asfalto
Pavimentación asfáltica	COVDM	320 Kg/ tonelada de asfalto
Pavimentación asfáltica	COVDM	0,023 Kg/tonelada de asfalto en planta
Producción de vidrio	COVDM	4.5 Kg / tonelada de vidrio

Los factores utilizados para la estimación de emisiones de la producción de poliestireno y cloruro de polivinilo, fueron los valores por defecto sugeridos por el IPCC, 1996 , pg 2.25. (Tabla 32).

Tabla 32. Factores de emisión para la categoría industria química.

PROCESO	FACTORES DE EMISIÓN (VALORES POR DEFECTO)	RANGOS DE VALORES PARA LOS FACTORES DE EMISIÓN
Producción de Poliestireno	5.4 kg COVDM/t de poliestireno	0.2 a 5.4 Kg / t de poliestireno
Producción de Cloruro de polivinilo	8.5 kg COVDM/t de cloruro de polivinilo	De 0.14-8.5 kg COVDM/t de cloruro de polovinilo

Ya que la metodología del IPCC considera diferentes factores de emisión para las emisiones de Óxido nitroso (NO_x), Compuestos Orgánicos Volátiles Diferentes del Metano (COVDM), monóxido de Carbono (CO) y Dióxido de Azufre (SO₂), que dependen del método de obtención del metal y dado que no se tiene información más detallada sobre el tipo de tecnología para su producción, se calculó un promedio ponderado de los factores de emisión de cada tecnología (tabla 33). Para las emisiones de CO₂, Tetrafluorometano (CF₄) y Hexafluoroetano (C₂F₆) del aluminio, se utilizó un criterio parecido a la producción de acero/hierro al colocar los datos ponderados en el Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero INEGEI, 1990-2006.

Tabla 33. Factores de emisión para la categoría Producción de metales.

PROCESO	COMPONENTE	FACTORES DE EMISIÓN ⁷
Producción de acero/hierro	CO ₂	1.6 t / tonelada de acero o hierro
Producción de acero/hierro	SO ₂	505 Kg / tonelada de acero hierro (ponderado)
Producción de acero/hierro	CO	471 Kg / tonelada de acero hierro (ponderado)
Producción de acero/hierro	NO _x	58 Kg / tonelada de acero hierro (ponderado)
Producción de acero/hierro	COVDM	50 Kg / tonelada de acero hierro (ponderado)
Producción de aluminio	CO ₂	1.551 t /tonelada de aluminio primario
Producción de aluminio	SO ₂	0.9 Kg / tonelada de aluminio primario)
Producción de aluminio	CO	267.5 Kg / tonelada de aluminio primario
Producción de aluminio	NO _x	2.15 Kg / tonelada de aluminio primario
Producción de aluminio	CF ₄ :	0.86 kg / tonelada de aluminio primario
Producción de aluminio	C ₂ F ₆ :	0.09 kg / tonelada de aluminio primario

Para la categoría otras industrias se utilizaron los factores de emisión sugeridos por el IPCC, 1996 para las emisiones de producción de celulosa y papel (tabla 34). En cuanto a la fabricación de alimentos y bebidas de acuerdo a las directrices del IPCC de 1996, las estimaciones de las emisiones están basadas en la producción

⁷ Tablas 2-12, 2-13, 2-14, 2.15, 2-16. Los datos del factor de emisión se calcularon de acuerdo a los valores de las tablas mencionadas y datos de producción.

total anual del proceso de elaboración de cada alimento o bebida de manera desglosada por categorías de acuerdo a la clasificación sugerida en el Libro de Referencia y Manual de Referencia (tabla 35).

Tabla 34. Factores de emisión para la categoría producción de celulosa y papel.

Proceso	Componente	Factores de emisión
Producción de celulosa y papel.	SO ₂	7 kg /tonelada de celulosa de papel seca
Producción de celulosa y papel.	CO	5.6 kg /tonelada de celulosa de papel seca
Producción de celulosa y papel.	NO _x	1.5 kg /tonelada de celulosa de papel seca
Producción de celulosa y papel.	COVDM	3.7 kg /tonelada de celulosa de papel seca

Tabla 35. Factores de emisión para la producción de alimentos y bebidas.

FACTORES DE EMISION PARA ALIMENTOS Y BEBIDAS		
Producto	Factor de emisión por defecto	Empleado para:
Bebidas alcohólicas sin especificar	15 Kg COVDM/hectolitro	tequila, aguardiente, rones, licores
Pan	4.5 Kg COVDM/Tonelada de pan hecho	pan blanco
Azúcar	10.0 Kg COVDM/tonelada de azúcar	azúcar
Margarina y grasas solidas de cocina	10.0 Kg COVDM/tonelada de Margarinas Y Grasas Solidas De Cocina	Margarina y grasas
Café tostado	0.6 kg COVDM/Tonelada de Café Tostado	café tostado
Pasteles biscochos y cereales para el desayuno	1 Kg COVDM/Tonelada	Galletas dulces, pan dulce, panque y o pastelillos recubiertos
Carne, pescado y aves	0.3 kg COVDM/Tonelada	Embutidos de carne
Alimento para animales	1Kg COVDM /tonelada	Alimento para animales (aves de corral, porcino y vacuno)

Resultados

Las actividades industriales emisoras de GEI'S identificadas dentro de la entidad, acordes con la metodología del IPCC, 1996 son las siguientes:

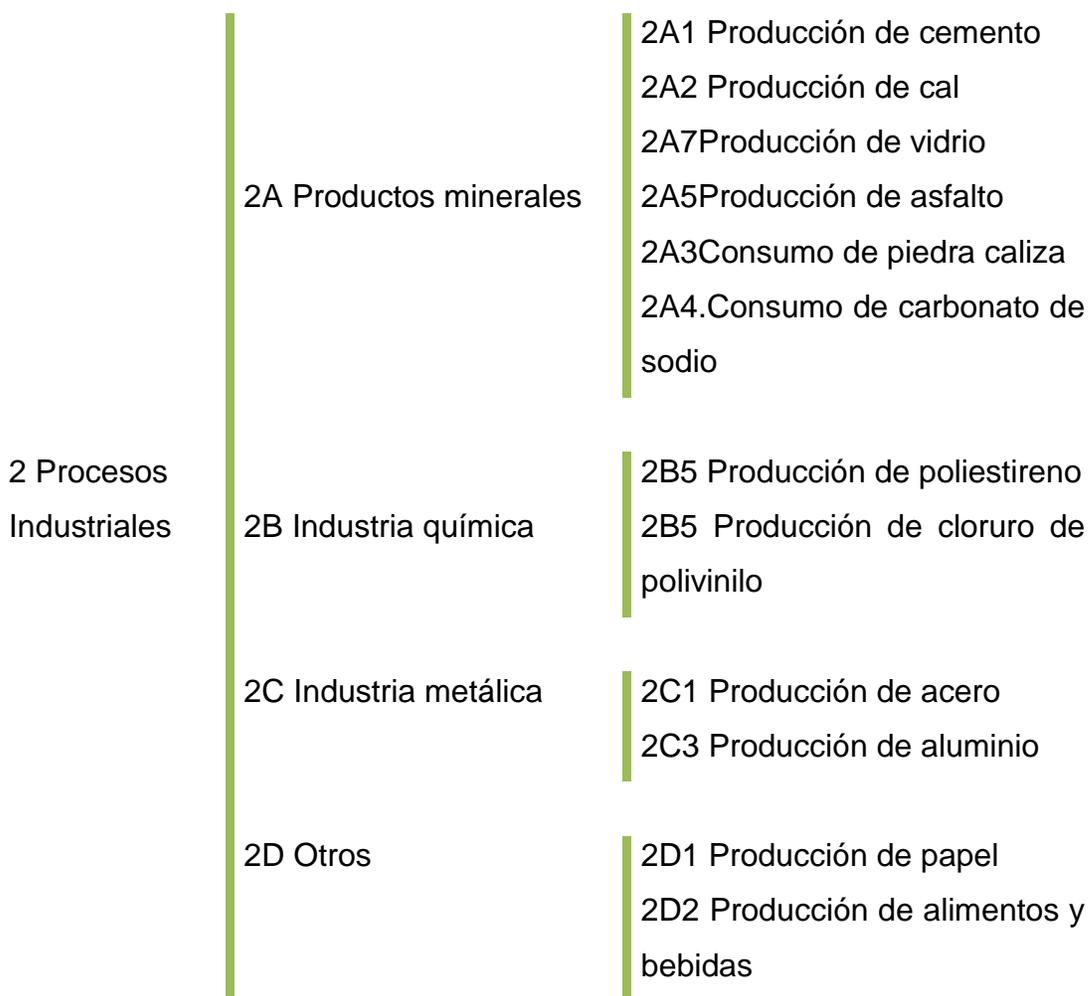


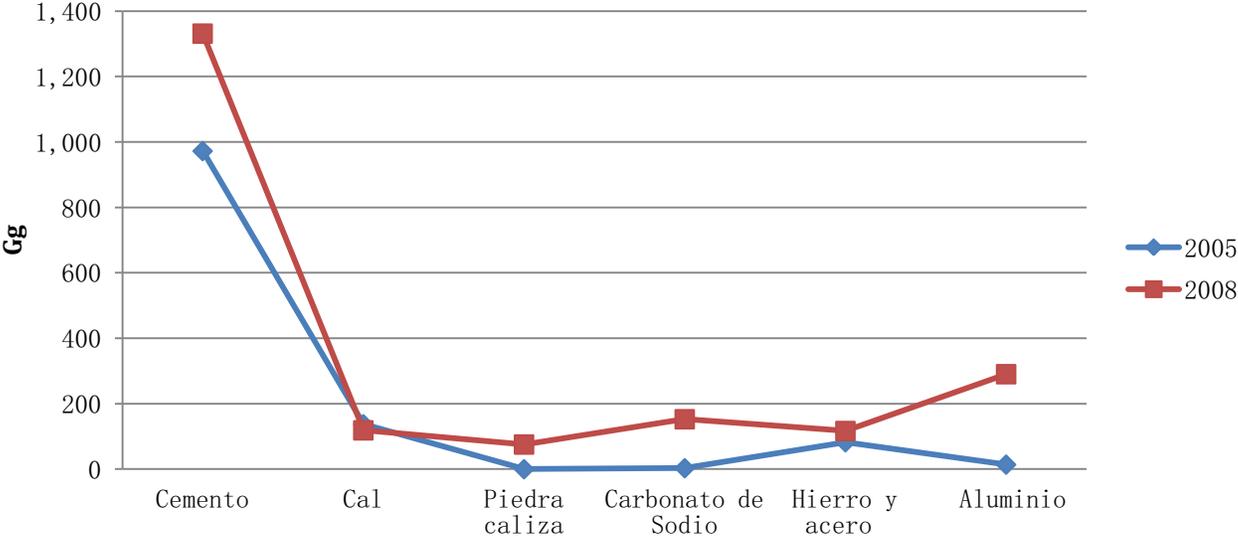
Figura 31. Procesos Industriales para el Estado de México.

Las principales emisiones del sector corresponden al CO₂, que representaron el 95.94 % para el año 2010; se observó un 72.44% de aumento del año 2005 al 2010, pasando de 1209.29 Gg a 2085.42 Gg. Estas emisiones se derivaron de la industria minera y metálica que como se puede observar en la figura 32 en todas sus fuentes, a excepción de la producción de cal, aumentaron de un periodo a otro. La fuente que más contribuyó a las emisiones de este gas fue la industria del cemento que en el periodo 2005 fue de 972.36 Gg mientras que en el año 2010

fueron 1331.38 Gg registrando un aumento del 36.92%; las emisiones derivadas de la producción de cal disminuyeron 13.54% pasando de 137.43 Gg a 118.87 Gg de CO₂. Solo hubo emisiones de CO₂ derivadas del consumo de piedra caliza en el año 2010 que fueron de 75.41 Gg. El uso de carbonato de sodio emitió 3.07 Gg de CO₂ en el año 2005 incrementando 4871.82% para el año 2010 con 152.74 Gg. Por su parte la producción de hierro/acero aumentó sus emisiones de CO₂ de 82.39 Gg a 116.66 Gg, es decir un 41.60 % ; mientras que las emisiones derivadas de la producción de aluminio se incrementaron un 1970.29% pasando de 14.03% Gg a 290.39 Gg.

Las fuentes que más contribuyeron a las emisiones de CO₂ en el año 2005 fueron la producción de cemento (972.36 Gg) seguida de la producción de cal (137.43 Gg) y en el año 2010, fue la misma producción de cemento (1331.38 Gg) seguida de la producción de aluminio (290.39 Gg).

Figura 32. Emisiones de CO₂ derivadas de las subcategorías productos minerales e industria metálica, para los años 2005 y 2008.



Los gases precursores de ozono troposférico (SO₂, COVDM, NO_x, CO) presentaron un incremento significativo en sus emisiones del año 2005 al año 2010 (Figura 33), en donde el SO₂ aumentó un 1090.69% (1.051Gg a 12.52 Gg),

estas emisiones se derivan, dentro de productos minerales de la producción de asfalto y cemento, dentro de la industria metálica de la producción de acero/hierro y aluminio y de Otras Industrias por la producción de papel; esta última industria es la que más aporta a las emisiones totales de este gas, representando más del 90% para ambos años con 1.01 Gg en el 2005 y 11.47Gg en el 2010.

Los COVDM presentaron un aumento del 203.03% pasando de 4.40 Gg a 13.33 Gg, estas emisiones se derivan de las 4 categorías presentadas para este inventario, por la producción de asfalto, vidrio, poliestireno, cloruro de polivinilo, papel, alimentos y bebidas. En el año 2005 la industria que mas aportó fue la de bebidas con 2.42 Gg que representó el 55.15%, seguida de los alimentos con 1.43 Gg es decir un 32.56; sin embargo para el año 2010 es la industria del papel la que mas genera este gas con un 45.45% (6.06 Gg). Por último las emisiones derivadas de bebidas y alimentos se mantuvieron constantes, con respecto al año base con 2.42 Gg y 1.44 Gg respectivamente.

Los NOx tuvieron un aumento del 1104.39% (0.24 Gg a 2.89 Gg), derivadas de la producción de asfalto, hierro/acero, aluminio y papel. La producción de papel nuevamente es la industria con mas emisiones de este gas; en el 2005 emitió el 90% con 0.21 Gg, mientras que en 2010 emitió el 84.87% con 2.45 %.

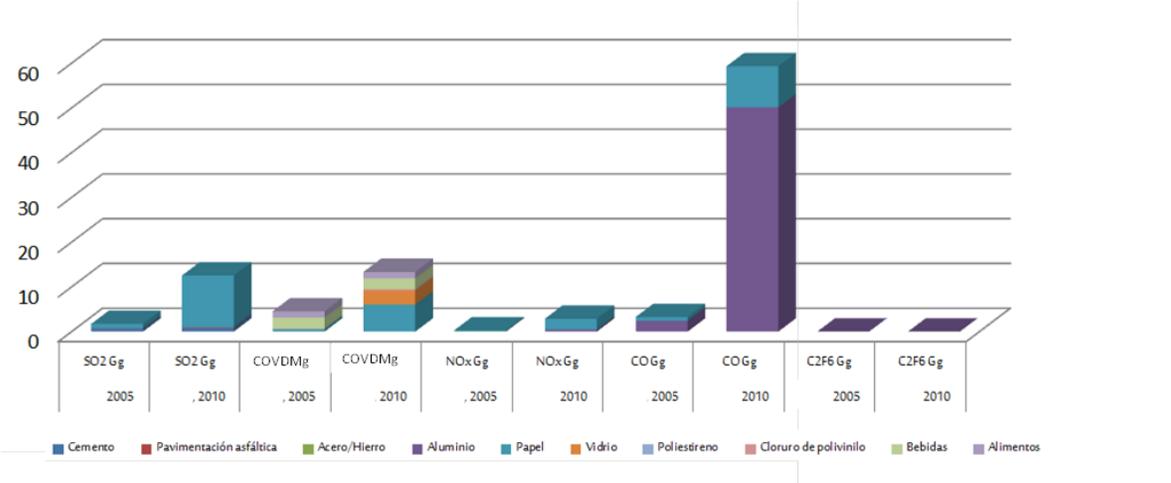


Figura 33. Emisiones de gases precursores de ozono y perfluorocarbonos por fuentes de emisión de procesos industriales.

Por último el monóxido de carbono incrementó 1722.04% (3.25 Gg a 59.30 Gg), siendo las fuentes de emisión la producción de pavimento asfáltico, de acero/hierro, de aluminio y de papel. En ambos periodos la producción de aluminio es la que más emite este gas con 2.41 Gg en el año 2005 y 50.08 Gg en el año 2010, representando el 73.78% y 84.44% respectivamente. La producción de papel es la segunda fuente que más aporta en las emisiones del CO con 0.81 Gg y 9.1 Gg, lo que representa un 24.85% y un 15,47 % respectivamente.

Se apreció que la industria de los metales es la que aumentó más sus emisiones del periodo 2005 al periodo 2010, esto sin contar las emisiones de CO₂ (éstas se detallan al principio de los resultados), en especial la del CO que pasó de 2.44 Gg a 50.11 Gg. Los únicos gases que se producen en la industria de los químicos son COVDM, aumentando de 0.089 Gg a 0.30 Gg; por último en otras industrias todas las emisiones aumentan; las de SO₂ aumentaron de 1.01 Gg a 11.47 Gg, las de COVDM aumentaron de 4.39 Gg a 9.93 Gg, las de NOx incrementaron de 0.81 Gg a 9.17 Gg y las de CO aumentaron de 2.45 Gg a 0.21 Gg, de emisiones en la producción de papel; en la industria de los alimentos y bebidas solo se generan COVDM, y éstos como ya se explicó anteriormente se mantienen constantes (Figura 34).

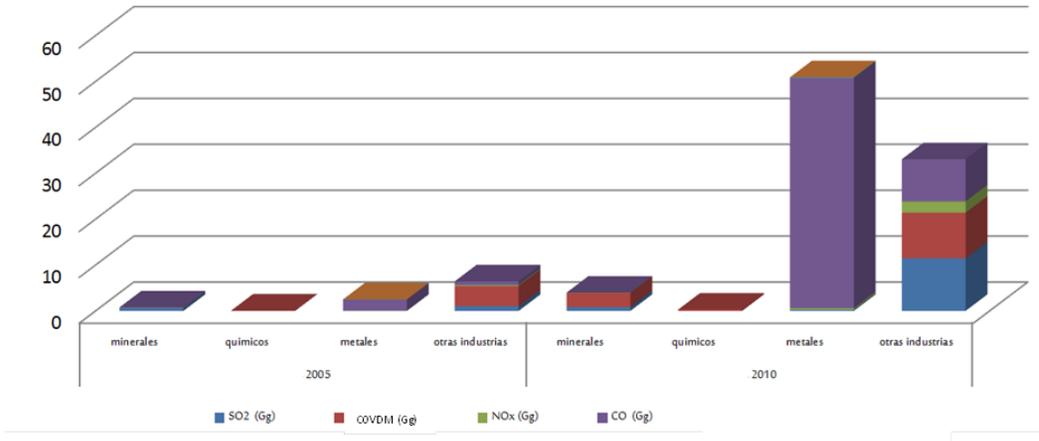


Figura 34. Emisiones por subcategoría de gases precusores y perfluorocarbonos derivados de procesos industriales.

Contando las emisiones de CO₂, las categorías que más contribuyen a las emisiones dentro del sector Procesos Industriales son productos minerales y producción de metales. (Figura 35). Por último se presentan las emisiones de GEI en CO₂ equivalente de las categorías productos minerales y producción de metales. Estas emisiones incrementaron 155.49 % pasando 1266.98 Gg CO₂ eq en 2005 a 3237.06 Gg de CO₂ eq. en 2010 (tabla 36).

Tabla 366. Resumen de emisiones del sector Procesos Industriales en CO₂ eq.

Emisiones en Gg de CO ₂ equivalente			
Gas	Categoría	2005	2010
CO ₂	Productos minerales	1,112.86	1,631.73
CO ₂	Producción de metales	96.42	411.53
CF ₄	Producción de metales	50.55	1,046.6
C ₂ F ₆	Producción de metales	7.15	147.2
Total		1,266.98	3,237.05

Con respecto a las emisiones a nivel Nacional del Sector Procesos Industriales en 2010 las del Estado de México representan un 5.2 %. (Figura 36).⁸

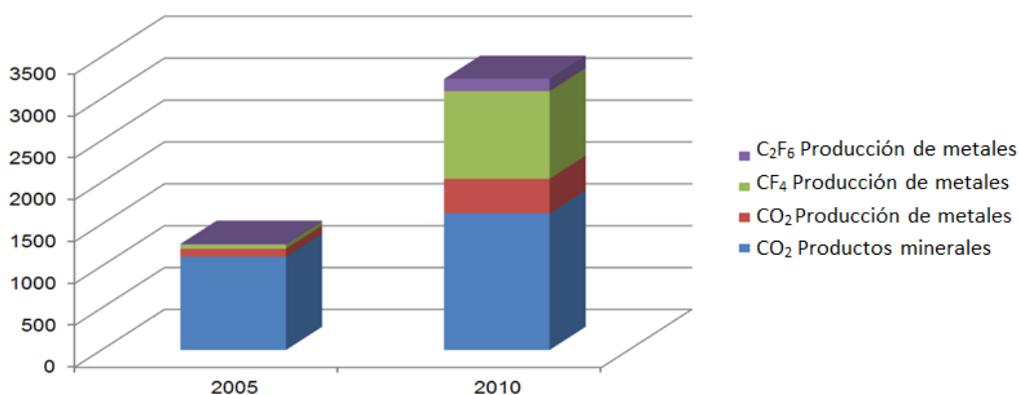


Figura 35. Resumen de emisiones de Gg de CO₂ equivalente por categoría.

⁸ Los potenciales de calentamiento global utilizados fueron: CF₄=6500, C₂F₆=9200

Discusión de Resultados

Productos minerales.

A nivel mundial en 2008 hubo una crisis económica que golpeó varias industrias, particularmente la industria de la construcción fue una de las que más se vio afectada (DGCS, 2011; Pérez, 2013). Esto se vio reflejado en la disminución de la producción de cal del 2005 al 2010 y por lo tanto en sus emisiones; uno de los principales corredores industriales que abarca este ramo de la industria dentro del Estado de México es el corredor industrial Apaxco, región que es rica en piedra caliza y agua y que por tal motivo las actividades económicas de la región están ligadas a la producción no solamente de cal sino también de cemento (H. Ayuntamiento del municipio de Apaxco. 2009). La ONU en 2005 nombró a esta zona como la más contaminada del mundo tras ser declarada por el mismo organismo en 1975 como zona de desastre ambiental (FOEI,2011).

Las emisiones derivadas de la producción de cemento aumentan a pesar de la crisis ya mencionada, las empresas que reportan en los periodos del presente inventario son Apaxco y CEMEX, quienes para el 2010 de acuerdo a las Cédulas de Operación Anual expanden su producción a otros tipos de cemento como lo son el Cemento Portland R 30 y/o 40 e incluso el mortero maestro, productos que no se encuentran en las bases de datos 2005.

Producción de metales.

Los metales son otra fuente de emisiones importante que aumentan al subir la producción tanto de acero/hierro como de aluminio; a nivel nacional el comportamiento de la industria del acero, en términos de crecimiento entre los años 2000 y 2011 fue oscilatorio, la caída en la producción por la crisis en 2008 se dio hasta el año 2009, por lo que se registró un aumento aproximado de un 1 millón de toneladas del 2005 al 2008 concordando con el aumento de producción

en el Estado de México en donde se encuentran algunas de las principales empresas en este sector (SE, 2012).

Industria Química.

En la entidad se encontró la producción de dos petroquímicos secundarios: el cloruro de polivinilo y el poliestireno, ambos derivados del etileno cuyos usos varían desde la fabricación de bolsas y empaques, hasta la elaboración de tuberías y mangueras entre otras cosas, las emisiones que se derivan de estos dos son los COVDM que se caracterizan por tener una alta reactividad fotoquímica; las emisiones suben al agregar la manufactura de cloruro de polivinilo en 2008; algo que destacó en las bases de datos del año 2005 que se manejaron, son las referencias a los productos en las que se utilizaban claves para nombrarlos por lo que hay cierta pérdida de cifras, aspecto que afectó en los cálculos de esta categoría.

Otras Industrias.

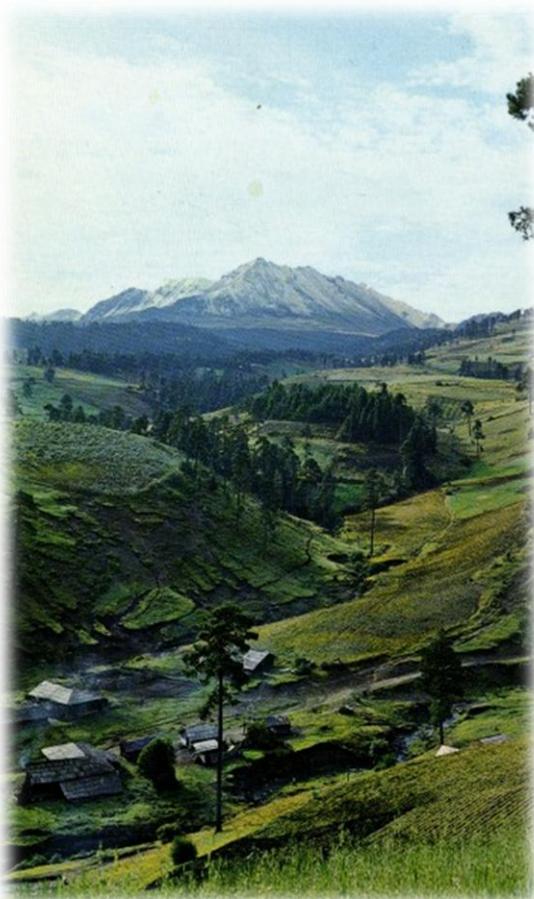
En el país el mercado de la industria alimentaria, para el año 2008, se ubicó en el orden de 4 mil millones de dólares, el Estado de México es una de las entidades de mayor importancia en este sector, tan solo en 2005 el Estado aportó 20% del total de las ventas nacionales y hacia 2007 fue el que mayor crecimiento mostró en ventas de alimentos con cerca de 130 mil millones de pesos. Los municipios en donde se concentra este sector se encuentran en la zona Oriente, siendo los principales Toluca, Ecatepec, Tlalnepantla, Naucalpan y Atizapán de Zaragoza (FUMEC y COMECYT, 2011). Los COVDM derivados de la industria de bebidas y alimentos se mantuvieron constantes; en cuanto a la producción de bebidas no cambió de un periodo a otro, con lo que respecta a los alimentos de manera general hay un aumento en su producción, sin embargo sus emisiones se mantienen constantes.

Por último, la industria del papel; de acuerdo a la FAO en el 2007 se consumían alrededor de 176 millones de toneladas de celulosa concentrándose el 80 % de consumo en 11 países, entre ellos Estados Unidos, China y Japón; para los años 2008 y 2009 esta industria también se vio afectada por las crisis que hubo a nivel mundial, donde las cifras preliminares de producción apuntan hacia una disminución en la fabricación de papel y cartón. Por su parte en México esta industria genera alrededor del 2 % de la producción manufacturera y 0.4 % del PIB del país. Del 2003 al 2008 el sector creció anualmente un 3.5 % aunque debido a la crisis para el 2009 se vio una reducción del 0.5 % (De la Madrid, Sin/ Año). Las emisiones que se derivaron por la manufactura de papel en el Estado de México para el 2010 aumentaron, esto ligado al aumento en su producción.

Conclusiones y Recomendaciones

- Con más del 90 % del total de emisiones para ambos periodos (2005 y 2010) las emisiones que más se generan en el Estado de México, dentro del sector Procesos Industriales, son las del CO₂ derivadas de las categorías Productos minerales y Producción de metales.
- Las fuentes que más contribuyeron a las emisiones de CO₂ en el año 2005 fue la producción de cemento (972.36 Gg) seguida de la producción de cal (137.43 Gg) y en el año 2010 fue la misma producción de cemento (1331.38 Gg) seguida de la producción de aluminio (290.39 Gg).
- Los otros gases emitidos en el sector son SO₂, COVDM, NO_x, CO de los cuales la industria del papel para el periodo 2010 fue la más emisora de SO₂, COVDM, NO_x., mientras que la producción de aluminio fue la que mas aportó emisiones de CO para el mismo periodo y es la única subcategoría emisora de CF₄ y C₂F₆.

- La aportación en CO₂ equivalente con respecto al nacional fue del 5.2 %, con aumento del 155.49 % del 2005 al 2010.
- Muchas Industrias se vieron afectadas por la crisis mundial económica en 2008, en el Estado de México esta situación se pudo reflejar en la baja de emisiones derivadas de la producción de cal.
- En este inventario no se estimaron las emisiones de los hidrofluorocarbonos, por lo que se recomienda darle seguimiento, para tener el panorama completa de las emisiones de este sector.
- Se sugiere la realización de guías ambientales para cada uno de los sectores de la industria, siguiendo el ejemplo de Colombia en donde a partir del 2005 se resuelve adoptar Guías ambientales como instrumento de autogestión y autorregulación del sector regulado y de consulta y referencia de carácter conceptual y metodológico tanto para las autoridades ambientales, como para la ejecución y/o el desarrollo de los proyectos, obras o actividades referentes a la industria minera (ICPC,2005). Para el caso del Estado de México estas guías metodológicas podrían contener las normas y leyes vigentes correspondientes a la entidad, así como un manual para la estimación de emisiones dependiendo de la industria, esto para homogeneizar la manera de contabilizar dichas emisiones. Igualmente se podría agregar un apartado de medidas de mitigación y adaptación, tomadas de las sugeridas por el PEACC y enfocadas a la industria en cuestión. Esta sugerencia tiene el fin de ayudar a las diferentes industrias que se encuentran dentro de la Estado a adaptarse de manera más eficiente a los cambios en su gestión y procesos derivados de las nuevas normas.



Elaborado por:

M en C. Claudia Ivett Alanís Ramírez.

Biól. Adolfo Galicia Naranjo.

Lic. Alberto Adrián Carrión Morett.

Revisor:

Dr. José Antonio Benjamín Ordóñez Díaz

Panorama General

A nivel mundial, la Agricultura representa un 13.4% en emisiones de GEI a la atmósfera (IPCC, 2007), siendo un sector que adquiere importancia, principalmente en la emisión de metano, óxido nitroso y dióxido de carbono. Se estima que en México, el sector agrícola genera cerca del 12.30% (92,184.4 Gg de CO₂ eq) de las emisiones nacionales (SEMARNAT, 2012). La agricultura se expande en 4 millones de unidades productivas, con una superficie aproximada de 21 millones de hectáreas, distribuidas en todo el territorio nacional bajo una diversidad de condiciones ambientales y niveles tecnológicos (SEMARNAT, 2012). En el caso de la ganadería, tan solo la bovina se lleva a cabo en el 110 millones de hectáreas, lo cual representa aproximadamente el 60 % del territorio nacional (Ruiz *et. al.*, 2004; SAGARPA, 2007). Debido a su extensión e importancia, es necesario estimar mediante un inventario GEI la contribución al efecto invernadero antropogénico de este sector. La finalidad de conocer el aporte de emisiones, es el de identificar los procesos que más emiten, con el fin de implementar medidas de mitigación y adaptación, que a su vez, puedan, mediante la tecnificación de las prácticas agrícolas y pecuarias reducir las emisiones, rendimientos, producción y beneficios económicos para los campesinos.

En este primer inventario del sector Agricultura para el Estado de México, se estiman las emisiones de GEI para el año base 2005 y el año de referencia, 2010. El sector Agricultura se compone de los subsectores pecuario y agrícola. En el sector pecuario, se incluyen las emisiones generadas por la fermentación entérica y el manejo de estiércol, mientras que en el sector agrícola se estiman las emisiones provenientes del cultivo de arroz, la quema de residuos agrícolas y suelos agrícolas (Tabla 37).

Tabla 37. Emisiones de gases de efecto invernadero, actividades de los subsectores e información requerida para el sector agricultura.

SUBSECTOR	SUBCATEGORÍA	INSUMOS DE INFORMACIÓN	GEI EMITIDO
PECUARIO O GANADERO	<i>Fermentación entérica.</i>	Cabezas de ganado Bovino, ovino, caprino, porcino y aves de corral.	CH ₄
	<i>Manejo de estiércol</i>		CH ₄ y N ₂ O
AGRÍCOLA	<i>Cultivo de arroz.</i>	Regadío, Secano y Aguas profundas.	CH ₄
	<i>Quema de residuos agrícolas</i>	Emisión de GEI por biomasa quemada	CH ₄ y N ₂ O
	<i>Suelos agrícolas</i>	Emisiones indirectas (fertilizantes nitrogenados, excretas aplicadas en cultivos, siembra de leguminosas) e directas (cultivos fijadores y no fijadores de nitrógeno, residuos agrícolas)	N ₂ O

Metodología

La metodología aplicada fue la recomendada por el Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC) en sus directrices y Software de 1996 y las Guías de las Buenas Prácticas (2003). Se hizo un llenado de los formatos de registro de datos (IPCC-96 Excel worksheet), siendo ligado un archivo (overview) el cual se repite para cada año de estimación. Los factores de emisión manejados para las hojas de cálculo son los considerados por defecto en el IPCC 1996, los generados por estudios de caso y en algunos otros, los empleados en otros inventarios ad hoc.

En algunos casos, no se cuenta con la misma información disponible a nivel estatal, a la utilizada para el cálculo de emisiones de GEI respecto del Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero 1990-2010, aunado a la escala de trabajo; es por ello que algunos de los valores de entrada no son similares. Como en el caso de los fertilizantes nitrogenados, en donde se empleó una referencia del INEGI y se adaptó a los años de estudio.

En cada categoría se parte de los árboles de decisiones, que sirven como apoyo para definir el método, los factores de emisión y datos de actividad en cada uno de los subsectores. De acuerdo con la información disponible, se elaboró el árbol de decisiones de las siguientes categorías: a) pecuario, b) cultivo del arroz y c) suelos agrícolas, obteniendo un nivel metodológico de complejidad básico denominado “Tier 1”, el cual, usa valores predeterminados de estimaciones globales para los diferentes factores de emisión o relaciones de emisión por tipo de ganado. Los árboles descritos en el presente informe son: fermentación entérica (Figura 36), manejo de estiércol (Figura 37), quema de residuos agrícolas (Figura 38) , suelos agrícolas (Figura 39) y cultivo del arroz (Figura 40).

Los gases efecto invernadero generados por las actividades agropecuarias son: Metano (CH_4), Óxido nitroso (N_2O), Óxidos de nitrógeno (NO_x), Monóxido de Carbono (CO) y Compuestos orgánico volátiles (COVDM). El metano (CH_4) se genera por una amplia variedad de procesos naturales y antropogénicos, tales como la digestión y la defecación de ganado, el cultivo de arroz anegado, la descomposición de residuos orgánicos, la combustión anaeróbica de la biomasa, las quema de residuos agrícola, entre otros. El metano procedente de manejo de excretas obedece a su descomposición en condiciones anaeróbicas, sistemas tipo líquido, abonado diario, almacenamiento sólido, en parcelas secas, praderas y pastizales.

El óxido nitroso (N₂O) se deriva de los suelos agrícolas mediante emisiones directas e indirectas, como la quema de residuos agrícolas, el uso de fertilizantes nitrogenados y el manejo de excretas. Éste gas, absorbe radiación infrarroja de la atmósfera y contribuye al efecto invernadero

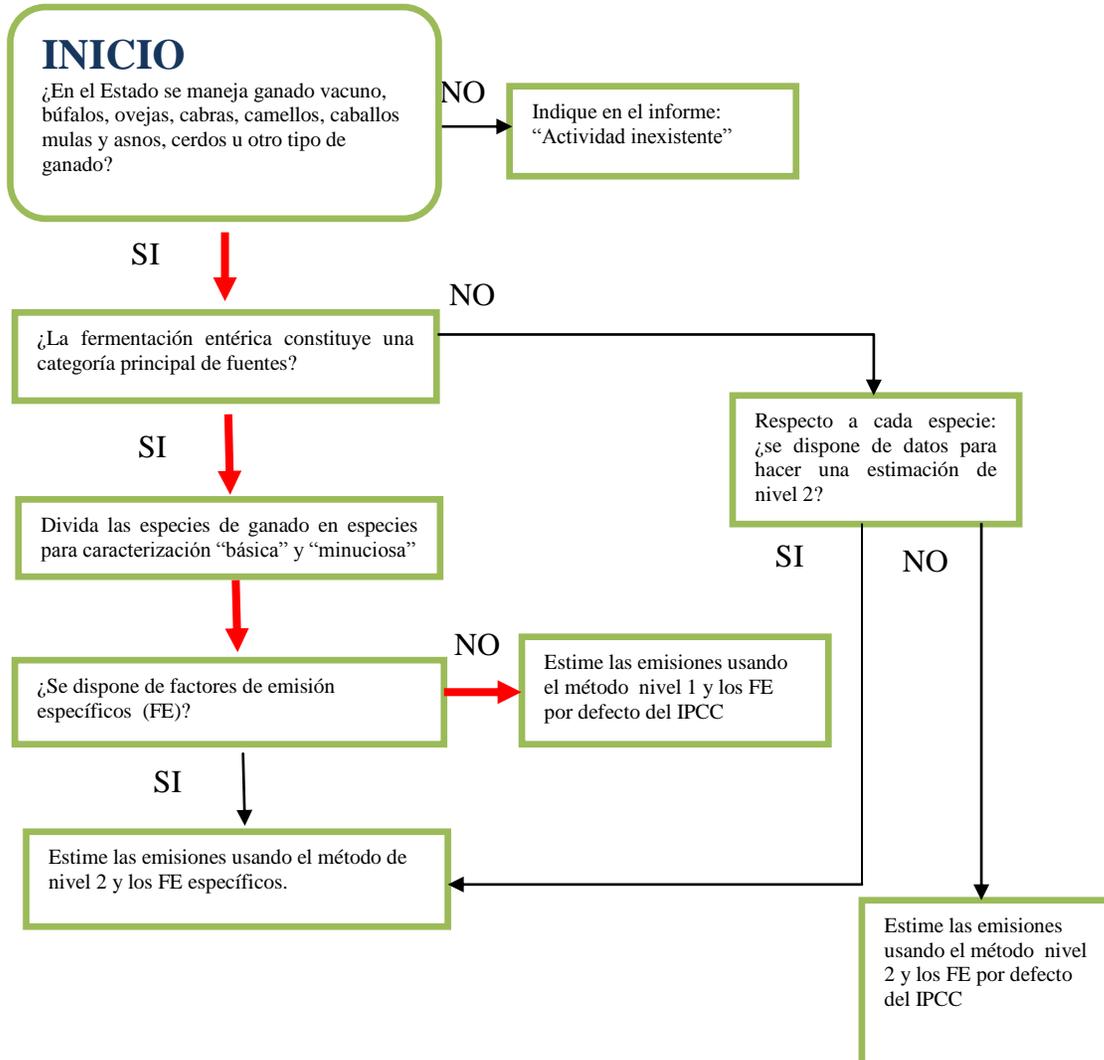


Figura 36. Árbol de decisión correspondiente a la fermentación entérica.

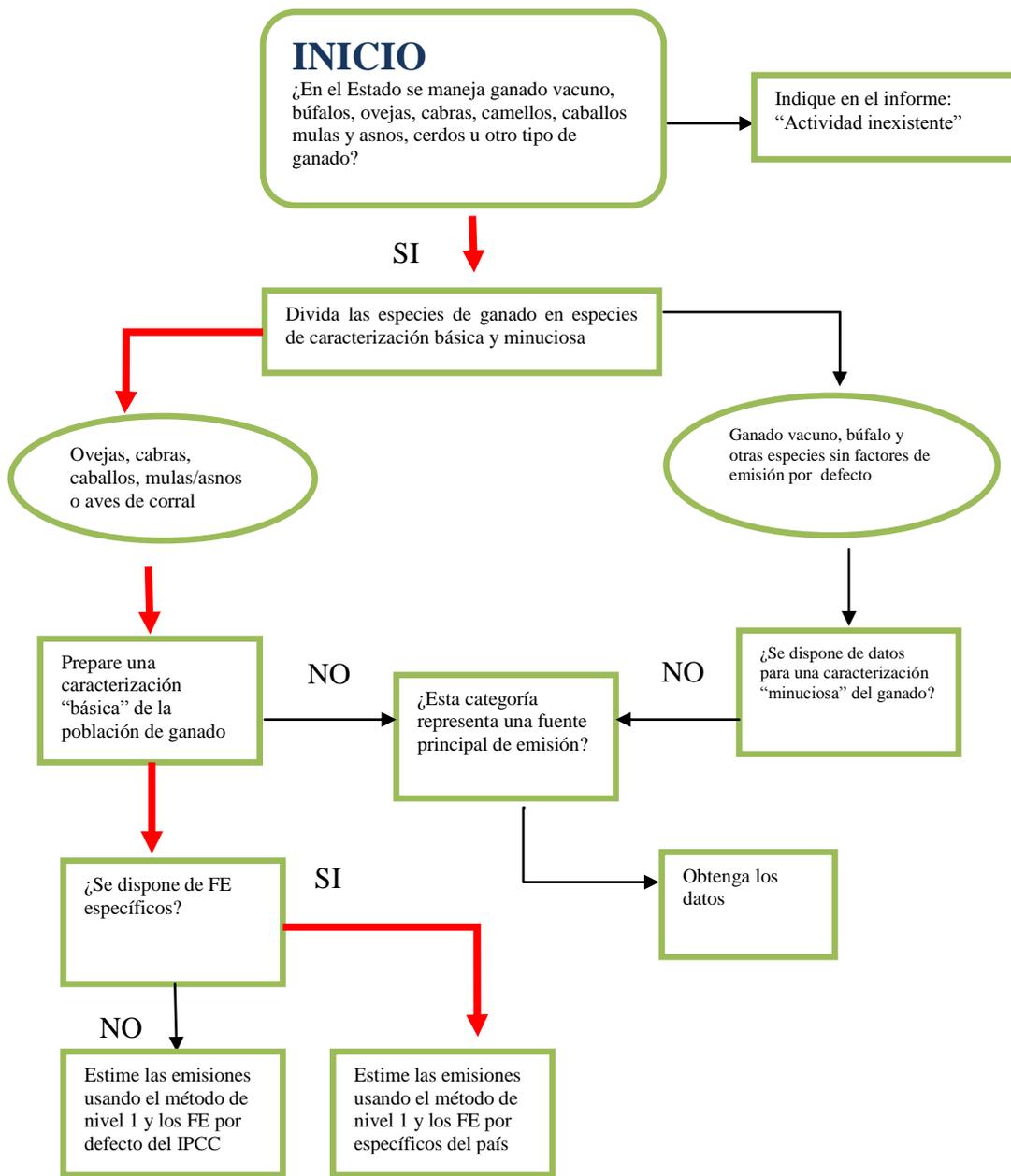


Figura 37. Árbol de decisión correspondiente al manejo de estiércol.

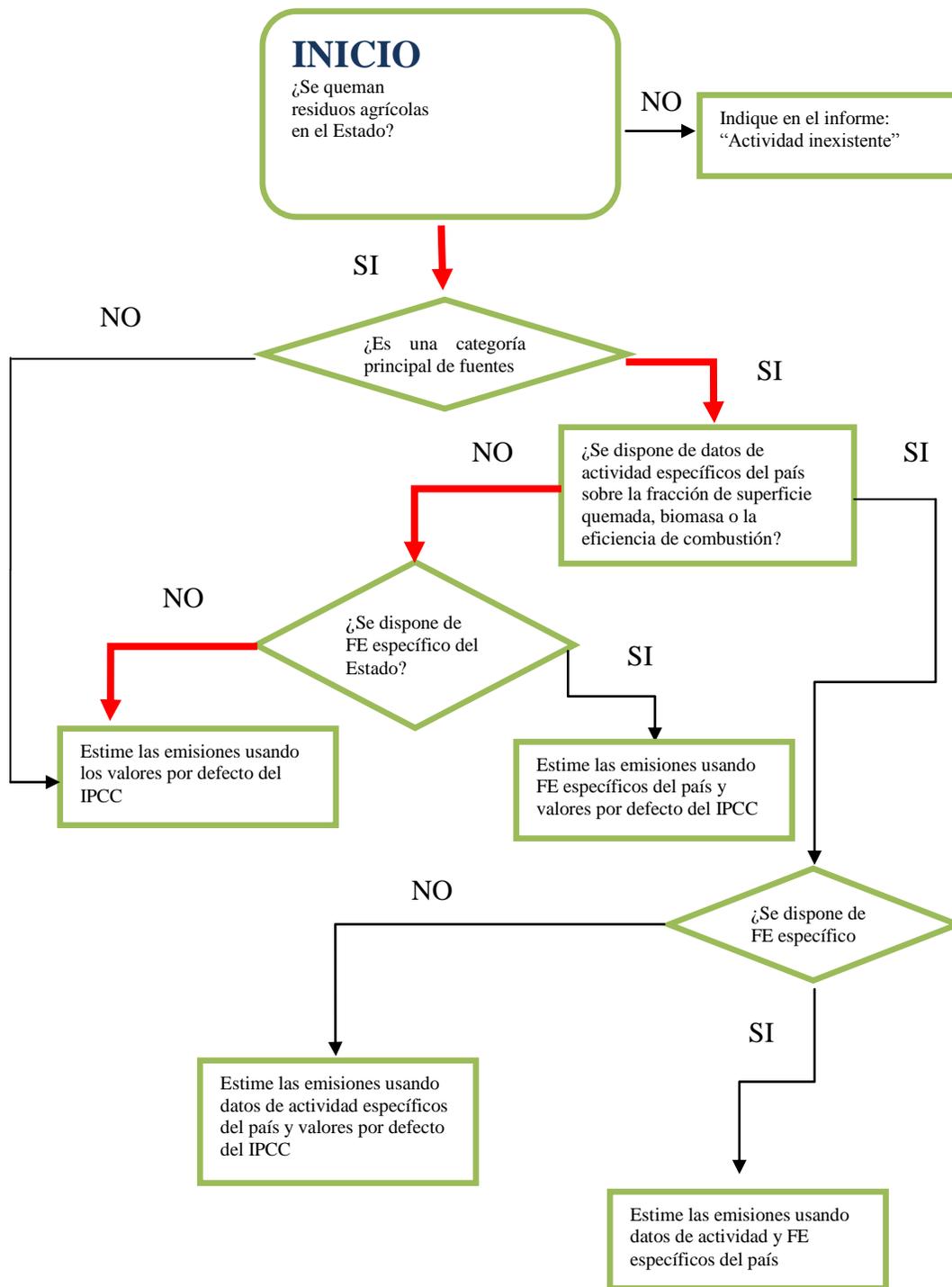


Figura 38. Árbol de decisión correspondiente a la quema de residuos agrícolas.

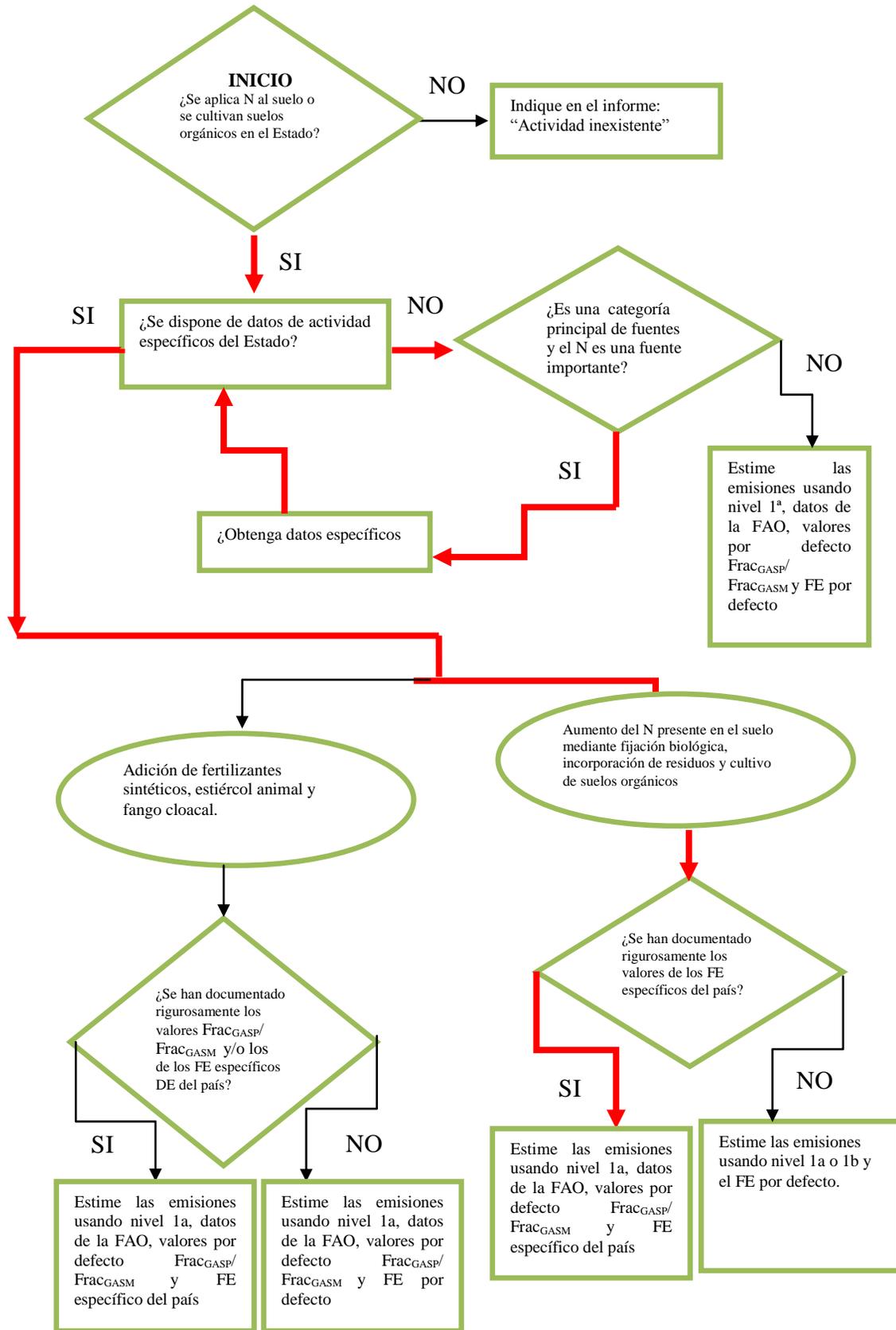


Figura 39. Árbol de decisión correspondiente a los suelos agrícolas.

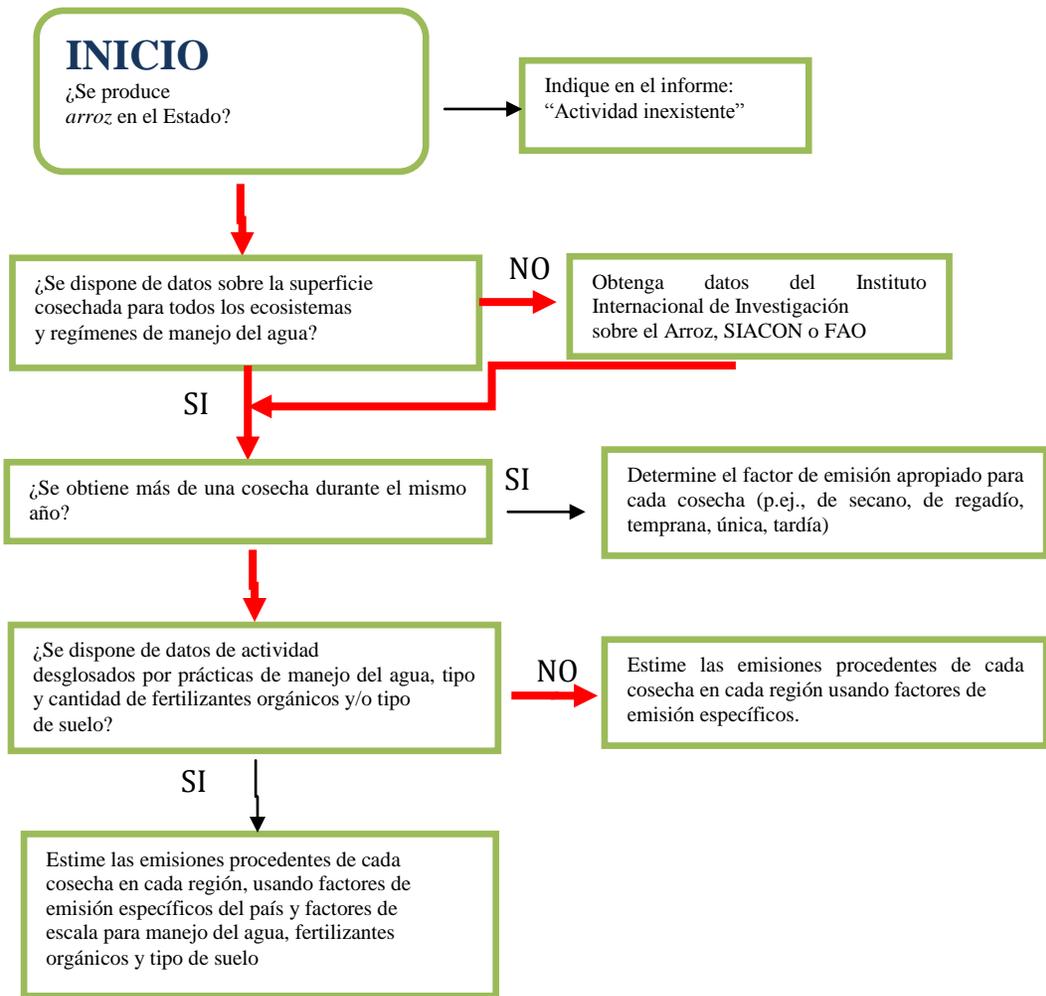


Figura 40. Árbol de decisión correspondiente al cultivo de arroz.

Datos de Actividad

HATO GANADERO

En el ganado doméstico, se tomaron en cuenta las principales especies ganaderas en el Estado: Bovino/leche, Bovino/carne, Ovino, Caprino, Porcino, aves, caballos, mulas y asnos, Tabla 38. Los valores incluidos para la estimación de gases generadas por las aves corresponden a la suma de: ave/huevo, ave/carne y guajolotes.

Tabla 38. Hato ganadero del Estado de México.

Hato ganadero (No de cabezas)	2005	2010	Incremento +/- %
Bovino Carne	568,046	559,254	-1.5
Bovino Leche	71,864	115,607	60.9
Caprino	129,937	122,986	-5.3
Ovino	1,251,416	1,289,321	3.0
Porcino	542,716	416,709	-23.2
Aves	16,666,102	16,334,276	-2.0
Mulas y asnos	58,069	33,024	-43.1
Caballos	80,073	65,664	-18.0
TOTAL	19,368,223	18,936,840	-2.2

Fuente: Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta (SIACON); Censo agrícola y pecuario 1991 y 2007 (INEGI)

DATOS AGRÍCOLAS

Quema de Residuos Agrícolas

La quema de residuos agrícolas es una práctica común en países en desarrollo, (*Directrices IPCC, 1996*), es por ello que para el Estado de México, se tomaron los primeros diez cultivos más representativos de acuerdo al volumen de producción, en Gg (giga gramos de cultivo) para los años 2005 y 2010, Tabla 39. Los factores de emisión para las relaciones residuo/cultivo, fracciones de materia seca, fracción

de carbono y nitrógeno fueron las que por defecto están señaladas en las directrices del IPCC (1996) y la Guía de las Buenas Prácticas (2003).

Tabla 39. Producción agrícola para el Estado de México.

Cultivo	Producción anual		
	(Gg de cultivo)		
	2005	2010	Incremento % +/-
Alfalfa Verde	940.34	646.56	-31.24
Avena forrajera	1,314.09	1370.78	4.31
Caña de azúcar, otro uso	24,863	23,290.85	-6.32
Cebada grano	52.04	9.86	-81.05
Maíz forrajero	1,389.32	1,032.53	-25.68
Maíz grano	1,211.44	1,549.55	21.82
Papa	159.09	107.67	-32.32
Tomate verde	57.56	52.14	-9.42
Trigo grano	34.35	23.57	-31.38
TOTAL	30,061.76	28,113.72	-6.48

Fuente: Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta (SIACON, 2013).

Cultivo de arroz

En México el arroz palay se produce de forma distinta según la región geográfica en la que se ubique el cultivo. Por ejemplo, en la zona Noroeste y Noreste se siembra de forma directa en la tierra (bajo riego); en el centro-Sur del territorio se hace por medio de trasplante bajo riego, mientras que en la zona Sureste, donde las lluvias son abundantes, se trata de un cultivo de temporal (SIAP, 2013). Las emisiones de CH₄ provenientes del cultivo de arroz se deben a la descomposición anaeróbica de la materia orgánica contenida en el substrato (suelo), el flujo de metano a la atmósfera puede variar en relación a los siguientes factores: el clima (temperatura y precipitación), la textura del suelo, pH, propiedades físicas y

químicas, al aporte de materia orgánica y al uso de fertilizantes (IPCC, 1996). Cabe señalar que en el Estado de México, el cultivo de arroz ocupa una superficie relativamente pequeña, siendo de 91 hectáreas en el 2005 y de 84 ha en el 2010, Tabla 40.

Tabla 40. Superficie de arroz palay en el Estado de México para los años 2005 y 2010.

Arroz Palay Riego (ha)	2005	2010
Sup. Sembrada	91	84
Sup. Cosechada	91	84

Fuente: Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta (SIACON)

Suelos Agrícolas

Las emisiones generadas por los sistemas de cultivo pueden proceder del nitrógeno empleado como fertilizante para la agricultura (indirectas), así como de las emisiones de N₂O (directas), las cuales son generadas de la mineralización del nitrógeno durante la reincorporación de residuos de cultivos a las parcelas agrícolas, después de la cosecha, son todos aquellos cultivos fijadores de Nitrógeno, Tabla 40, (FAO y SAGARPA, 2012) y el resto son considerados como no fijadores. Tabla 41.

Por ejemplo las plantas que tienen la capacidad de fijar Nitrógeno son las leguminosas por simbiosis con una bacteria. Las más conocidas son las plantas de la familia de las leguminosas (Fabaceae) como los tréboles, alfalfa, soja, alubias o porotos, guisantes), que poseen en sus raíces nódulos con bacterias simbióticas conocidas como rizobios, que producen compuestos nitrogenados que ayudan a la planta a crecer y competir con otras plantas. Cuando la planta muere, el nitrógeno ayuda a fertilizar el suelo (Smil, 2000).

Tabla 41. Cultivos fijadores de Nitrógeno en el Estado de México para los años 2005 y 2010.

Cultivo fijador de nitrógeno (Ton)	2005	2010
Alfalfa Verde	940,341.70	646,559.30
Arvejon	6.50	14.45
Cacahuate	210	104.20
Chícharo	31,887.83	30,253.35
Ebo (janamargo O Veza)	12,166.50	13,363.90
Ejote	177	94.90
Frijol	11,190.46	6,663.99
Haba Grano	1,222.17	526.04
Haba Verde	28,749.85	32,033.35
Jícama	189	243
Tamarindo	45	12
TOTAL	1,026,186.01	729,868.48

Fuente: Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta (SIACON)

Tabla 42. Cultivos no fijadores de Nitrógeno en el Estado de México para los años 2005 y 2010.

Cultivos no fijadores de Nitrógeno	2005	2010
Acelga	439.25	458.08
Alcachofa	593.20	373
Alheli (manejo)	280,000	353,750
Alstroemeria (gruesa)	150,150	495,770
Amaranto	194.25	490.51
Aster (manejo)	5,569,630	5,823,005
Avena Grano	24,094.72	19,143.40
Betabel	2,044.83	1,053.15
Brocoli	159.10	496.60
Café Cereza	2,040.35	1,455.95
Calabacita	12,086.59	16,774.89
Calabaza		277.50
Camote	1,134.60	1,232.90
Canola	573.50	2,123.70
Cebada Grano	52,044.16	9,862.38
Cebolla	13,568.20	9,236.54

Chayote	1,000	925
Chilacayote	3,967.60	1,990.50
Chile Verde	2,599.80	1,281.08
Cilantro	1,400.44	919.49
Cineraria (planta)	1,727,900	994,405
Clavel (gruesa)	5,468,000	3,341,675
Col (repollo)	2,897.50	6,015.31
Col De Bruselas	305	122.22
Coliflor	926	505.50
Crisantemo (gruesa)	8,731,240	10,233,150
Crisantemo (planta)	360,000	684,000
Elote	15,816.63	26,798.62
Epazote	655	539.40
Espinaca	621.05	720.50
Frambuesa	355.20	189.25
Fresa	4,899.60	5,474.60
Girasol Flor (gruesa)	60,155	70,713.15
Guayaba	11,353.65	10,756.96
Lechuga	10,068.68	6,620
Maíz Grano	1,211,436.01	1,549,545.32
Manzanilla	805.05	1,039.09
Melón	54.50	92.50
Papa	159,089.95	107,667.46
Pastos	2,966,402.68	2,645,545.84
Pepino	2,869.50	3,470.75
Pera	819.16	1,289.20
Perejil	13.65	0
Piña	16	18
Plátano	825	340.50
Polar (gruesa)	12,000	143,800
Pon-pon (gruesa)		4,635
Rábano	128	28.75
Rye Grass		166,870.49
Sandia	486.65	754.70
Sorgo Grano	1,455	1,410
Terciopelo (manejo)	228,900	227,000
Tomate Rojo (jitomate)	39,707.60	81,711.93
Tomate Verde	57,555.40	52,137.53

Trigo Grano	34,347.52	23,568.21
Triticale Grano	220	829
Yuca Alimenticia	24	36
Zanahoria	72,415.94	44,896.76
Zempoalxochitl (manejo)	107,400	146,077.50
Zempoalxochitl (planta)	360,000	540,195
TOTAL	27,409,886	27,181,265

Fuente: Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta (SIACON)

La producción en biomasa seca de los cultivos fijadores y no fijadores, para los años 2005 y 2010, se muestra en la tabla 43, los cuales fueron los reportados en las hojas de cálculo.

El término 0.15 se utiliza para convertir la producción de los cultivos a biomasa seca (INE,2008)

Tabla 43. Producción de los cultivos fijadores de nitrógeno para los años 2005 y 2010.

VOLUMEN TOTAL	Cultivos	2005	2010
Producción (ton)	No fijadores N	27,409,886	27,181,265
	Fijadores N	1,026,186	729,868
Producción (Kg)	No fijadores N	27,409,885,510	27,181,264,710
	Fijadores N	1,026,186,010	729,868,480
Datos en kg de biomasa seca, 0.15	No fijadores N	4,111,482,827	4,077,189,707
	Fijadores N	153,927,902	109,480,272

Fuente: Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta (SIACON).

El consumo de fertilizantes nitrogenados en el Estado de México representa una fuente importante de emisiones de N₂O indirectas. Se estima el consumo de fertilizantes para los años 2005 y 2010, mediante la relación de consumo de fertilizante/ha cultivada para los años respectivos, Tabla 44.

Tabla 44. Consumo de fertilizantes nitrogenados.

Fertilizantes nitrogenados	2005	2010
Sup. sembrada (ha)	892,914	890,170
Kg N /ha año	73	73
Kg	65,130,495	64,730,762

Fuente: SAGAR, Centro de Estadística Agropecuaria; INEGI y Asociación Nacional de la Industria Química, A.C., Anuario Estadístico de la Industria Química.

Fuentes de información.

La información correspondiente al hato ganadero en el Estado de México, se obtuvo del sistema de información agroalimentaria de consulta (SIACON-SAGARPA, 2012) y de los Censos Agrícolas, Ganaderos y Pecuarios 1991 y 2007 (INEGI).

Debido a que en la base de datos del SIACON no se reportan el número de cabezas de ganado equino (mulas, asnos y caballos), estos datos se obtuvieron de los Censos Agrícolas, Ganadero y Forestal del INEGI (1991 y 2007), con dicha información se realizó una extrapolación de datos, mediante una regresión lineal para obtener valores estimados de los años en estudio (2005 y 2010).

Los datos requeridos para la cuantificación de emisiones procedentes de la quema de residuos agrícolas, el cultivo del arroz, los suelos agrícolas y la producción anual de los cultivos representativos del Estado de México, se obtuvieron de la base de datos del SIACON (2012).

En cuanto al consumo de fertilizantes nitrogenados, la información proporcionada por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO por sus siglas en inglés: Food and Agriculture Organization of the United Nations) y la Asociación Internacional de la Industria de los Fertilizantes (IFA por sus siglas en inglés: International Fertilizer Industry Association) no está disponible a nivel estatal, por lo cual se envió la solicitud de información a la Secretaría de Desarrollo Agropecuario (SEDAGRO), a través de la Secretaría de Medio Ambiente del Estado de México. Al contar con limitaciones en la disponibilidad de

la información, se procedió a estimar el consumo de fertilizantes nitrogenados con base en la referencia de los indicadores de desarrollo sustentable del INEGI (2000), en donde se reporta el uso de fertilizantes por hectárea cultivada para el año 1996; con estos datos se estimaron los consumos de los años 2005 y 2010.

Éste dato puede ser impreciso, pues asume una tasa fija de consumo de fertilizantes (INEGI, 2000). Sin embargo, dicha situación abre una línea de investigación para las Universidades del Estado de México y Centros de Investigación, emprendan proyectos con el objetivo de llevar a cabo la cuantificación del consumo de fertilizantes y la cantidad de cal aplicada a las tierras de cultivo en el Estado.

Factores de Emisión

En la Tabla 45, se muestran los factores de emisión que se fueron empleados para la estimación de las emisiones procedentes de la fermentación entérica y el manejo de estiércol. Estos factores son los utilizados en el Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (INEGEI) 1990-2002 y en el (INEGEI) 1900-2012. Dichos factores son un promedio estimado de los estudios experimentales de González Ávalos (1999), y González Ávalos y Ruiz Suárez (2001). Así como los sugeridos por las Directrices del IPCC (1996).

Tabla 45. Factores de emisión para las actividades de fermentación entérica y manejo de estiércol.

Hato ganadero (No de cabezas)	Factores de emisión para la fermentación entérica (kg/cabeza/año)	Factores de emisión para el manejo de estiércol (kg/cabeza/año)	Fracción del nitrógeno por estiércol por SME (100%)					
			Anaeróbico	Líquido	Sólido	Diario	Pasteo	Otro
Lechero	104.353	0.694	0	0	0.426	0.62	0.57	0
No lechero	47.409	1	0	0.01	0.339	0	0.66	0.01
Ovejas	5	0.139	0	0	0	0	1	0
Cabras	5	0.149	0	0	0	0	0.99	0.01
Caballos	18	1.803	0	0	0	0	0.99	0.01
Mulas y Asnos	10	0.986	0	0	0	0	0.99	0.01
Cerdos	1	0.694	0	0.08	0.51	0.02	0	0.4
Aves de Corral	0	0.016	0	0.09	0	0	0.42	0.49

Fuente: Directrices IPCC, 1996; INE, 2008, INE 2012.

Los factores de emisión empleados para la quema de residuos agrícolas, Tabla 46, corresponden al valor promedio sugerido por las directrices del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC, 1996). Se tomó el valor promedio como una medida para no subestimar o sobreestimar las emisiones. La relaciones de los residuos son respecto a la producción de cultivos, la fracción quemada de los residuos, el contenido de materia seca de los residuos y el contenido de carbono y de los residuos representativos de la Entidad, obtenidos del Manual de Referencia para el Inventario de los GEI.

Tabla 46. Factores de emisión para la quema de residuos agrícolas.

Cultivo	Relación de residuos-cultivo	Fracción de materia seca	Fracción de Carbono en el Residuo	Relación de Nitrógeno-Carbono
Alfalfa Verde	2.1	0.88	0.4072	0.05
Avena forrajera	1.3	0.83	0.4567	0.012
Cebada grano	1.2	0.83	0.4567	0.012
Caña de azúcar	0.16	0.1	0.4072	0.01
Frijol grano	2.1	0.83	0.4072	0.05
Maíz forrajero	0.3	0.24	0.4709	0.2
Maíz grano	1	0.873	0.4709	0.02
Papa	0.4	0.25	0.4226	0.12
Tomate verde	2.1	0.25	0.4226	0.05
Trigo grano	1.3	0.83	0.4853	0.012

Fuente: Directrices IPCC, 1995; INE, 2008.

Para el cálculo de las emisiones provenientes de los suelos agrícolas, se emplearon los factores de emisión sugeridos por defecto por el IPCC (1996).

Resultados

Emisiones de metano (Gg) procedentes de la fermentación entérica.

Las emisiones de metano (CH₄) por fermentación entérica y en el manejo de estiércol son generadas como subproductos de la digestión de los alimentos en el aparato digestivo y por la descomposición de las excretas del ganado. En el año 2005 las emisiones por fermentación entérica correspondieron a 43.90 Gg, mientras que para el 2010 fueron de 47.57 Gg de CH₄.

En este lapso de 5 años se encontró un incremento en las emisiones de un 8.35%. En donde, se aprecia que el ganado bovino es el que más contribuye con dichas

emisiones en ambas actividades y en los dos años (Figura, 41 y Tabla, 47); lo cual puede deberse al incremento en el número de cabezas de ganado bovino lechero en el Estado de México, el cual incrementó su población en un 61% en el 2010, respecto al 2005, Tabla 37. En el caso del ganado ovino se muestra igualmente un incremento en la población y en consecuencia, el aumento en las emisiones.

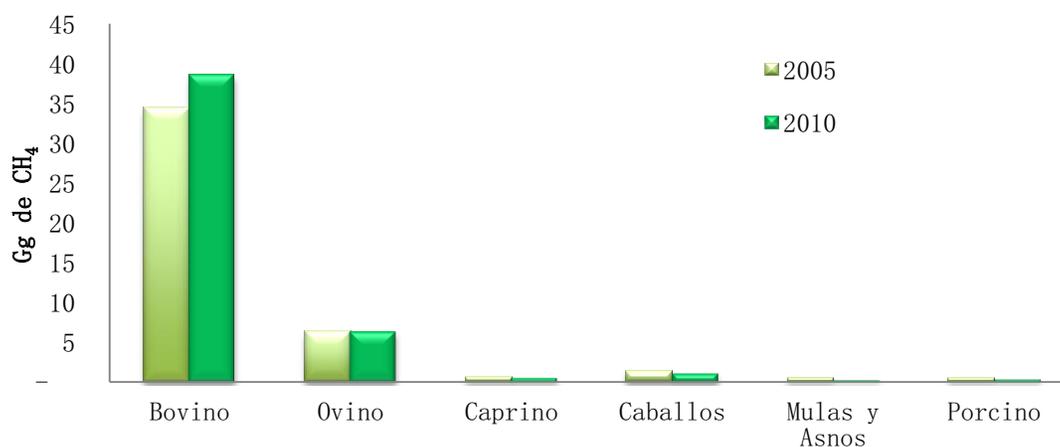


Figura 41. Emisiones de metano generadas por la fermentación entérica.

Tabla 47. Emisiones de metano (Gg) provenientes de la fermentación entérica.

Ganado (Gg CH ₄)	2005		2010		Incremento
	2005	2010	2005	2010	+/- %
Bovino	34.43	38.58	34.43	38.58	12
Ovino	6.26	6.45	6.26	6.45	3
Caprino	0.65	0.61	0.65	0.61	-5.4
Caballos	1.44	1.18	1.44	1.18	-18
Mulas y Asnos	0.58	0.33	0.58	0.33	-43
Porcino	0.54	0.42	0.54	0.42	-23.2
TOTAL	43.90	47.57	43.90	47.57	8.4

Emisiones de metano (Gg) procedentes del manejo de estiércol.

En el caso de las emisiones de CH₄ provenientes del manejo de estiércol; en el 2005 se reportan emisiones de 1.66 Gg, mientras que, en el 2010 corresponden a 1.51 Gg; disminución del 8.54%. Las diferencias en cuanto a las emisiones pueden deberse a la reducción del ganado porcino y equino, el cual disminuyó un 23.2% y un 43.13% respectivamente, Tabla 48.

Cabe destacar que el ganado bovino sigue siendo el que genera la mayor cantidad de emisiones en ambos años. A nivel general, las emisiones del año base 2005 son mayores, con excepción del ganado bovino y el caprino, las cuales emiten más CH₄ en el 2010 (Figura 42 y Tabla 48).

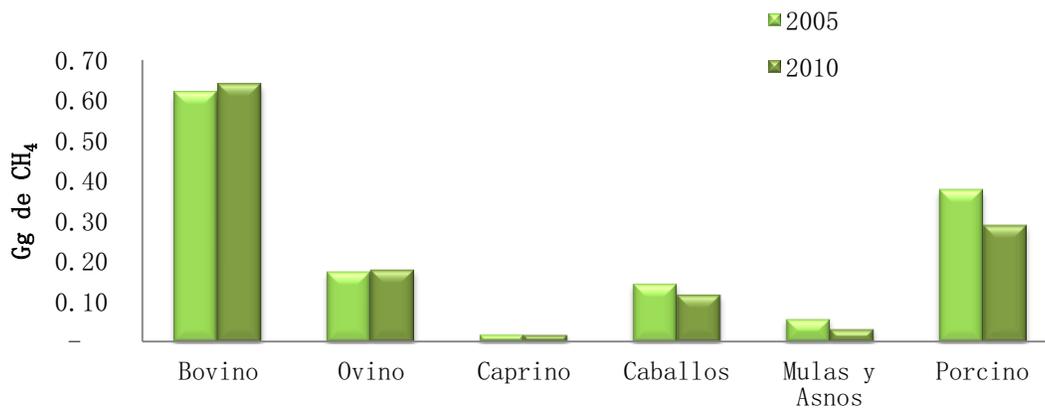


Figura 42. Emisiones de metano (Gg) provenientes del manejo de estiércol.

Tabla 48. Emisiones de metano (Gg) provenientes del manejo de estiércol.

Ganado (Gg CH ₄)			Incremento
	2005	2010	+/- %
Bovino	0.62	0.64	3.5
Ovino	0.17	0.18	3
Caprino	0.02	0.02	-5.4
Caballos	0.14	0.12	-18
Mulas y Asnos	0.06	0.03	-43.1
Porcino	0.38	0.29	-23.2
Aves	0.27	0.24	-11
TOTAL	1.66	1.51	-8.5

Emisiones de óxido nitroso (N₂O) procedentes de los sistemas de manejo de las excretas de ganado doméstico.

El manejo y la disposición que se le da a las excretas, son algunos de los factores que más influyen en la emisión de N₂O, algunos estudios sugieren que éste aporte extra de materia orgánica a los suelos, acelera la desnitrificación de los mismos (Ramírez, 2010). En este caso, las emisiones provenientes de los almacenes sólidos y parcelas secas, son las que generan la mayoría de las emisiones de N₂O para el Estado, Figura 43.



Figura 43. Emisiones de N₂O (Gg) provenientes del manejo de estiércol.

Emisiones procedentes de la quema de residuos agrícolas.

En cuanto a la quema de residuos agrícolas, las principales emisiones corresponden a monóxido de carbono, tanto en el año 2005 como en el 2010, Figura 44.

Dicha área de residuos, generando la combustión, también produce hollín., el cual es el llamado carbono negro y es clasificado como un gas de vida corta, el cual repercute de manera inmediata a la salud humana y al clima en general.

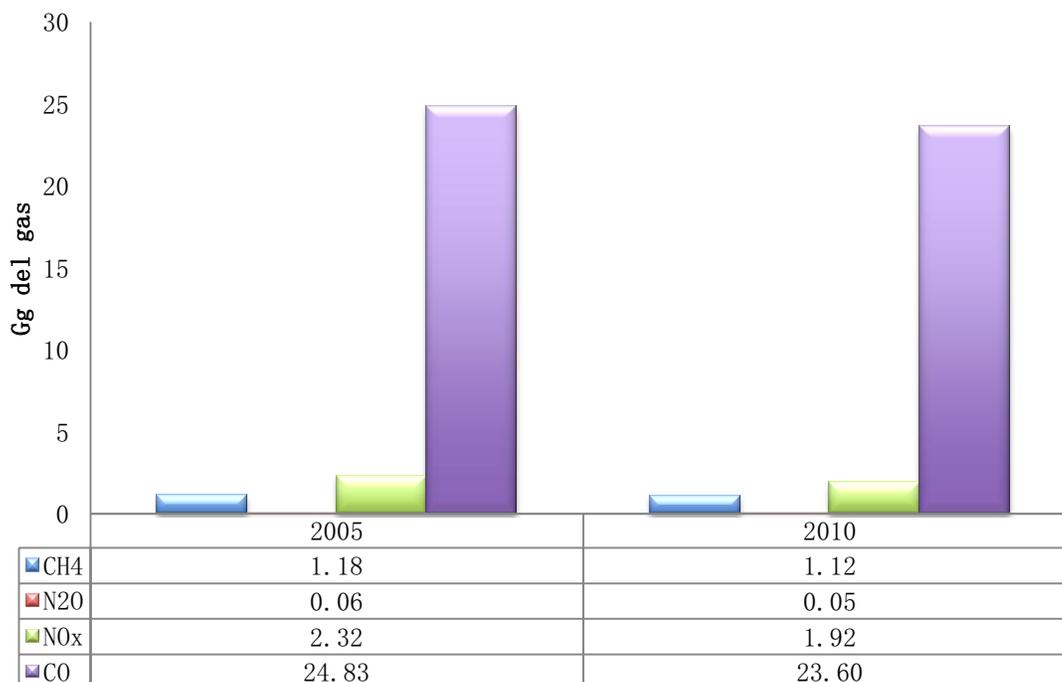


Figura 44. Emisiones de gases por la quema de residuos agrícolas.

Emisiones procedentes de Suelos Agrícolas.

En muchos de los sistemas agrícolas los cultivos como: la alfalfa, la soya, las legumbres y el trébol, proporcionan un importante aporte de nitrógeno (N_2). Si bien, estos cultivos no requieren o requieren muy poca cantidad de fertilizantes, se ha demostrado que pueden aportar emisiones de N_2O similares a las de otros cultivos, siendo no fijadores de nitrógeno (FAO, 2004). Las emisiones generadas en el Estado, durante el 2005 corresponden a 7.06 Gg de N_2O , mientras que en el 2010 equivalen a 6.96 Gg, Tabla 49.

Tabla 49. Emisiones de N_2O (Gg) provenientes de suelos agrícolas.

Emisiones GEI, Procedentes de suelos agrícolas (Gg)	2005	2010	Incremento
			% +/-
N_2O	7.06	6.96	-1.45

Si bien, los suelos actúan como emisores y/o receptores de N_2O y NO_x , el uso de fertilizantes orgánicos (estiércol) y sintéticos, contribuyen a los procesos de desnitrificación del suelo. Los fertilizantes minerales son una fuente de nutrientes indispensable para mantener las altas demandas de producción agrícola. La pérdida de N en forma de gases es el mecanismo que domina en muchos sistemas de producción agrícola. Los procesos de pérdidas incluyen: la volatilización, la nitrificación y desnitrificación, liberando a la atmósfera de NH_3 , NO , N_2O y N_2 (FAO, 2004). A nivel general, la desnitrificación es la fuente principal de emisiones de N_2O a la atmósfera (Bergstrom et al., 2001).

Emisiones procedentes del cultivo de arroz

Las emisiones de metano son particulares del cultivo del arroz; en el Estado de México la producción de arroz está afectada por los cambios en el clima, las precipitaciones irregulares, periodos más secos en la estación húmeda (dañando las plantas más jóvenes), sequía e inundaciones, situaciones que están teniendo impacto sobre los rendimientos. En la tabla 50, se muestran las emisiones de metano en Gg de los años 2005 y 2010 y se obtuvo una disminución del 7.60%.

Tabla 50. Emisiones de CH_4 (Gg) procedentes del cultivo de arroz.

Emisiones GEI, cultivo de arroz (Gg)	Incremento	
	2005	2010
CH_4	0.0182	0.0168
	%	
	+/-	
	-7.6	

Distribución de las Emisiones del Sector Agricultura en el Estado de México en Gg de CO_2 eq.

Por último, se presentan las emisiones GEI en unidades de CO_2 eq, tabla 51, las cuales se estiman multiplicando la cantidad de emisiones de un gas de efecto invernadero por su valor de potencial de calentamiento global. Al expresar las emisiones de GEI en estas unidades, podemos compararlas entre sí y medir la

contribución de cada fuente al total de emisiones del inventario. Por tal motivo, aunque las emisiones en Gg de metano son superiores a las de N₂O, al convertirlas a CO₂ podemos ver que el subsector que más contribuye; es el de emisiones directas e indirectas provenientes de suelos agrícolas, posteriormente, las emisiones generadas por la fermentación entérica.

Tabla 51. Resumen de emisiones para el sector agricultura.

Gas	Emisiones en Gg de CO ₂ eq	2005	2010	Incremento +/- %
CH ₄	Fermentación entérica	921.93	998.93	8.4
CH ₄	Manejo de estiércol	34.76	31.79	-8.6
N ₂ O	Manejo de estiércol	161.08	159.17	-1.2
CH ₄	Quema de residuos agrícolas	24.83	23.60	-5
N ₂ O	Quema de residuos agrícolas	19.92	16.50	-17.2
N ₂ O	Emisiones directas e indirectas provenientes de suelo agrícolas	2,205.20	2,157.94	-2.1
CH ₄	Cultivo de arroz	0.38	0.35	-7.7
TOTAL		3,368.10	3,388.28	0.6

Potencial de Calentamiento Global, conversión CO₂eq: CO₂=1, CH₄=21, N₂O=310.

Fuente: Segundo Informe de Evaluación, IPCC, Quinta Comunicación, 2012.

A nivel general en el 2010 las emisiones directas e indirectas provenientes de suelos agrícolas representan el 64% de las emisiones, la fermentación entérica, 29% y el manejo de estiércol, 4%. En la figura 45 se muestra la relación de las emisiones para ambos años.

Al hacer la comparación con los datos reportados por el Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (INEGEI) para el sector Agricultura 92,184.4Gg CO₂ eq (2010), lo que corresponde a un 12.31%, observando que, para el mismo año, el Estado de México contribuye con el 0.45% de las emisiones totales dicho sector.

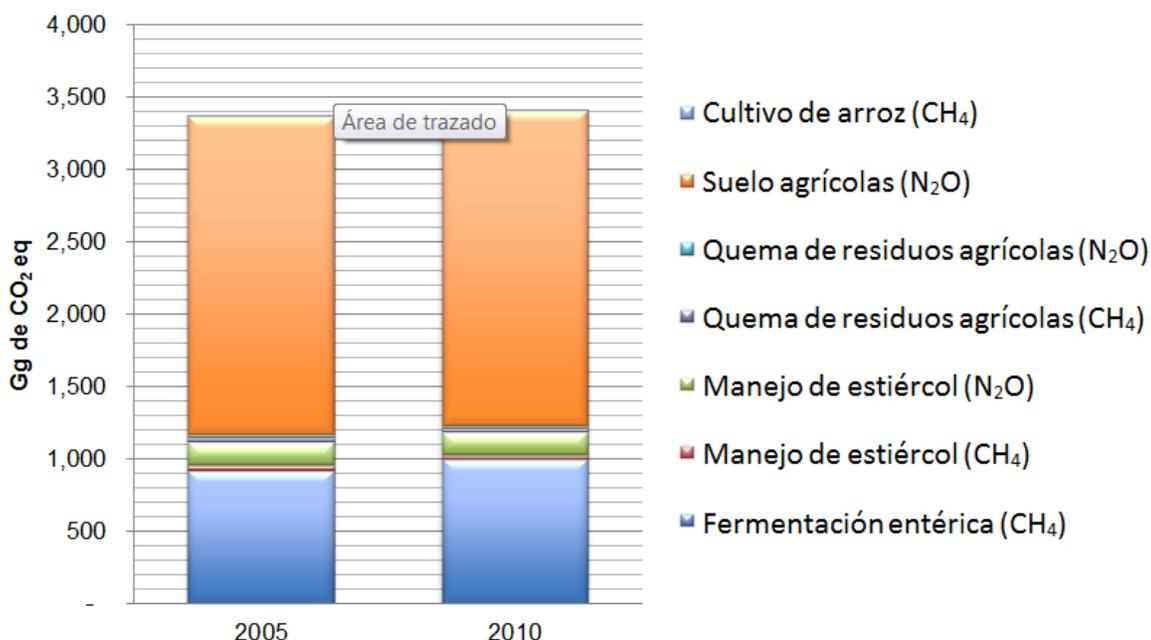


Figura 45. Resumen de emisiones de Gg de CO₂ eq., por categoría.

El análisis de las categorías clave para el sector agricultura, tabla 52, se observa que el porcentaje a mitigar en las emisiones del gas metano para la fermentación entérica es del 29% a partir del 2010 y las emisiones directas e indirectas provenientes de suelos agrícolas para el óxido nitroso es de un 64%. Dichas actividades se verán representadas en escenarios de emisiones para los años 2020, 2030 y 2050, para posteriormente realizar una curva de abatimiento de costo-beneficio.

Tabla 52. Análisis de categorías clave para el Sector Agricultura.

Gas	Emisiones en Gg de CO ₂ eq	2005	2010
CH ₄	Fermentación entérica	27.37%	29.48%
CH ₄	Manejo de estiércol	1.03%	0.94%
N ₂ O	Manejo de estiércol	4.78%	4.70%
CH ₄	Quema de residuos agrícolas	0.74%	0.70%
N ₂ O	Quema de residuos agrícolas	0.59%	0.49%
N ₂ O	Emisiones directas e indirectas provenientes de suelo agrícolas	65.47%	63.69%
CH ₄	Cultivo de arroz	0.00%	0.01%
TOTAL		100%	100%

Discusión de resultados

Si bien, la Agricultura en México es uno de los sectores que más contribuyen con emisiones de GEI a la atmósfera, también representa unos de los sectores con más posibilidades de mitigación y adaptación al cambio climático. Asimismo, la reducción de emisiones de GEI es uno de los requisitos planteados por el protocolo de Kioto, del cual forma parte México desde sus inicios.

La relevancia de conocer las emisiones y los sectores que más emiten radica en identificar fuentes clave, mismas que pueden ser atendidas mediante la implementación de medidas de adaptación y mitigación al cambio climático. Lo cual se cumple con la elaboración de este inventario.

La importancia del sector agropecuario no radica únicamente en su aporte de emisiones de GEI a la atmósfera, pues involucra actividades como la provisión de alimentos, que de verse afectada por cuestiones como el cambio climático, puede poner en riesgo la seguridad alimentaria del país.

De acuerdo a la FAO (2007), los parámetros que involucra la seguridad alimentaria son: la disponibilidad, la estabilidad, el acceso y la utilización de los alimentos.

Se ha identificado que la provisión de alimentos depende de numerosos factores, entre los que se encuentran variables como: la temperatura, la humedad, la precipitación, la radiación solar, entre otras. Mismas que, al ser componentes del clima, son afectadas por el actual proceso de cambio. Asimismo, por el extenso deterioro ambiental de origen antropogénico.

El cambio climático puede incrementar el riesgo de que se malogren las cosechas y se pierda ganado (FAO, 2009), lo cual se ha constatado en las últimas sequias

registradas en el país, por lo cual, es fundamental identificar un portafolio de medidas de adaptación al cambio climático (INE, 2012).

Las emisiones de metano generadas por la fermentación entérica son representativas a nivel mundial (FAO, 2009), ésta problemática está sustentada en el incremento del hato ganadero, el cual representa una fuente de alimentación indispensable para las sociedades humanas.

Algunas medidas, como el suministro de una dieta más equilibrada que no sea demasiado elevada en fibra, simultáneamente mejoran la productividad y reduce las emisiones de metano de las especies rumiantes. De manera similar, la gestión del estiércol para evitar la acumulación y liberar el metano es también importante; existen varias técnicas, incluyendo la biodigestión, la cual es eficaz y económicamente posible, de igual modo, su aplicación puede tener mucha amplitud. La mejora en las proporciones de alimentos con el fin de limitar la expansión de la zona utilizada para los cultivos alimenticios también cuenta con sustancial potencial de mitigación (FAO, 2009). Estudios recientes indican que incluir alimentos ricos en saponinas, reducen el número de protozoarios en el rumen del animal y en consecuencia las emisiones de metano (Vera et al., 2012).

En los últimos años se ha hecho notar la importancia que tienen las variaciones climáticas en la agricultura, principalmente en la que depende de la lluvia de temporal. Si bien, la sequía forma parte de la variabilidad natural del clima y es recurrente, aunque sin un ciclo definido. La magnitud de sus impactos depende de la vulnerabilidad de los sistemas naturales y de su relación con las sociedades humanas (SEMARNAT, 2012). Como ejemplo de esto, las sequías ocurridas en el 2010-2011 causaron pérdidas de 15.4 millones de toneladas de granos básicos y la muerte de 50,000 cabezas de ganado (Presidencia de la República, 2012). La sequía tiene importantes consecuencias sociales, económicas y ambientales (Magaña y Neri, 2012). Asimismo, desde la segunda mitad del 2010, un déficit de

lluvias, generó que 19 entidades del país alcanzaran el nivel de sequía severa y provocó pérdidas superiores a los 15,000 millones de pesos (Presidencia, 2012).

Conclusiones y Recomendaciones

- Las emisiones promedio de metano (Gg de CO₂ eq) procedentes de la fermentación entérica corresponden al 28 % de las emisiones reportadas en este sector, mientras que las generadas por el manejo de estiércol son del orden del 1%. En cuanto a las emisiones de N₂O (Gg de CO₂ eq), éstas representan el 65% en promedio.
- En el Estado de México, al considerar la totalidad del hato ganadero contabilizado en éste inventario, podemos observar que disminuye un 2.2% en el periodo de estudio. El ganado equino y el porcino se reducen de manera considerable. Por el contrario, el ganado bovino lechero, se ha incrementado, el cual refleja un aumento de las emisiones de CH₄ procedentes de la fermentación entérica en el 2010. En el caso del ganado equino, el desuso y la sustitución de los animales de tiro por los tractores, ha generado que a nivel nacional se reduzca su población. Si bien el ganado disminuye, se tienen referencias que la carne consumida en la región sur del Estado, proviene principalmente de la producción de los estados colindantes.
- De manera similar que en la ganadería, las prácticas agrícolas son necesarias para la producción de alimentos. En términos generales, las emisiones provenientes de las actividades agrícolas representan el 67% del sector. Este aporte depende en gran medida a las actividades como; el uso de fertilizantes, la quema de residuos agrícolas, la siembra de cultivos fijadores y no fijadores de nitrógeno y en menor proporción al cultivo de arroz.

- Tomando en cuenta que la superficie cultivada en el Estado de México en el 2010 representa el 39.82% de la superficie Estatal; es necesario implementar prácticas que reduzcan el deterioro ambiental, el cual es debido principalmente al uso ineficiente de agroquímicos y la apertura de tierras no aptas para esta actividad, prácticas que tienen como consecuencia la deforestación, la erosión y la contaminación del suelo y el agua.

Uso de Suelo Cambio de Uso de Suelo y Silvicultura



Elaborado por:

Ing. Jesús Humberto Salazar Monroy

Tec. Omar Cruz Cruz

Biol. Adolfo Galicia Naranjo

Revisado por:

Dr. José Antonio Benjamín Ordóñez Díaz

Panorama General

En las últimas décadas el cambio de uso de suelo se ha constituido como uno de los factores plenamente implicados en el calentamiento global; alterando procesos y ciclos involucrados en el mantenimiento de las buenas condiciones en el ambiente como: el ciclo del agua, el ciclo del carbono, incrementando los procesos erosivos y de desertificación de suelos, pérdida de biodiversidad, entre otros (Lambin *et al.*, 1999). Estos cambios y alteraciones en los ciclos biogeoquímicos traen consigo el deterioro en la estabilidad y estructura del ecosistema, y en consecuencia, la pérdida de los servicios ambientales de los cuales dependemos como sociedad. Haciendo énfasis en los ecosistemas terrestres, los cuales han sufrido grandes cambios debidos en su mayoría a la conversión de la cobertura del terreno y a la degradación del suelo.

El objetivo principal de realizar un inventario de emisiones en el sector USCUSyS, es el de identificar y cuantificar las principales fuentes y sumideros de Gases de Efecto Invernadero, lo cual es básico para poder entender la compleja dinámica de los flujos del carbono y el de otros gases relacionados con el cambio climático (INE, 2006). Así como, dar inicio y contribuir en la estrategia nacional de inventarios estatales de GEI. Por lo cual, el implementar estudios que proporcionen información sobre la situación actual de los recursos ecosistémicos y forestales; la dinámica de su crecimiento y/o deterioro son de gran importancia para hacer la planeación de un manejo adecuado y sostenible.

La biodiversidad del Estado de México se debe a diferentes factores, entre los que se encuentran: la historia geológica, el relieve, la topografía y el régimen climático. Estos factores le confieren cualidades especiales que permiten el desarrollo de una amplia diversidad de especies. Asimismo, su integración dentro de la provincia de los Lagos y Volcanes de Anáhuac, le ha permitido contar con amplios contrastes en la elevación de su territorio; presentando zonas cercanas a los 300 msnm, donde se desarrolla la selva baja caducifolia, hasta un conjunto de grandes planicies ubicadas a 2,250 y 2,600 msnm. Estas regiones correspondientes a la cuenca de México y del Río Lerma, respectivamente, donde predomina la

vegetación de bosques templados, matorrales espinosos, humedales y pastizales de altura, entre otros (Ceballos, 2009).

De acuerdo con los resultados obtenidos en el inventario forestal del Estado de México (2010), la cobertura vegetal ocupa 1,087,812 Ha; y se distribuyen de la siguiente manera (Tabla, 53) (Gov. Edo. Mex).

Tabla 53. Superficie forestal por ecosistema en el Estado de México.

Ecosistema	Inventario 2010 (ha)	%
Bosques templados de clima frío	706,949	65.0
Selva baja caducifolia	128,719	11.8
Vegetación de Zonas áridas(matorral)	22,026	2.0
Vegetación Hidrófila	5,078	0.5
Pastizales	204,625	18.8
Pradera de alta montaña	5,041	0.5
Otras	840	0.1
Degradación del suelo	14,534	1.3
Total	1,087,812	100

Fuente: Inventario forestal 2010, Estado de México.

Las masas forestales son uno de los principales recursos naturales en el Estado de México, ya que representan el 48% de la superficie estatal.

En consideración a lo anterior, en el Estado de México se han realizado diferentes trabajos para conservar y evaluar la superficie vegetal, a modo de poder garantizar la calidad y provisión de los servicios ambientales a futuro.

Metodología

En el presente inventario se emplean las metodologías propuestas por el Panel intergubernamental de Cambio Climático (IPCC), versión 1996 Directrices Revisadas. El cálculo de las emisiones procedentes de la sector Uso de Suelo, Cambio de Uso de Suelo y Silvicultura (USCUSyS); se centra en cuatro actividades, en donde algunas pueden ser fuentes o sumideros de dióxido de carbono (CO_2). Así como de gases distintos al CO_2 , entre los que se encuentran: metano (CH_4); óxido nitroso (N_2O), óxidos de nitrógeno (NO_x) y monóxido de carbono (CO). El cálculo de las emisiones para este inventario solo se considera como año base 2005 y el cálculo de emisiones para 2010.

Las emisiones y/o remociones en este sector son generadas por los cambios en bosques y otros reservorios de biomasa leñosa, la conversión de bosques y pastizales a tierras de cultivo, el abandono de tierras cultivadas y el cambio en el contenido de carbono de suelos minerales. Las actividades consideradas anteriormente, se identifican a nivel mundial como algunas de las más importantes, respecto al uso del suelo, cambio en el uso del suelo y las prácticas de manejo forestal.

En la figura 46 se muestran la correlación que existe entre las principales actividades del sector, las cuales se encuentran resaltadas en recuadros rojos. Mientras que, los datos de actividad los identificamos en los recuadros de color amarillo y por último, las emisiones y remociones de GEI en los recuadros de color verde. Esta representación nos permite observar de una manera sencilla las complejas dinámicas de los flujos de carbono en el sector.

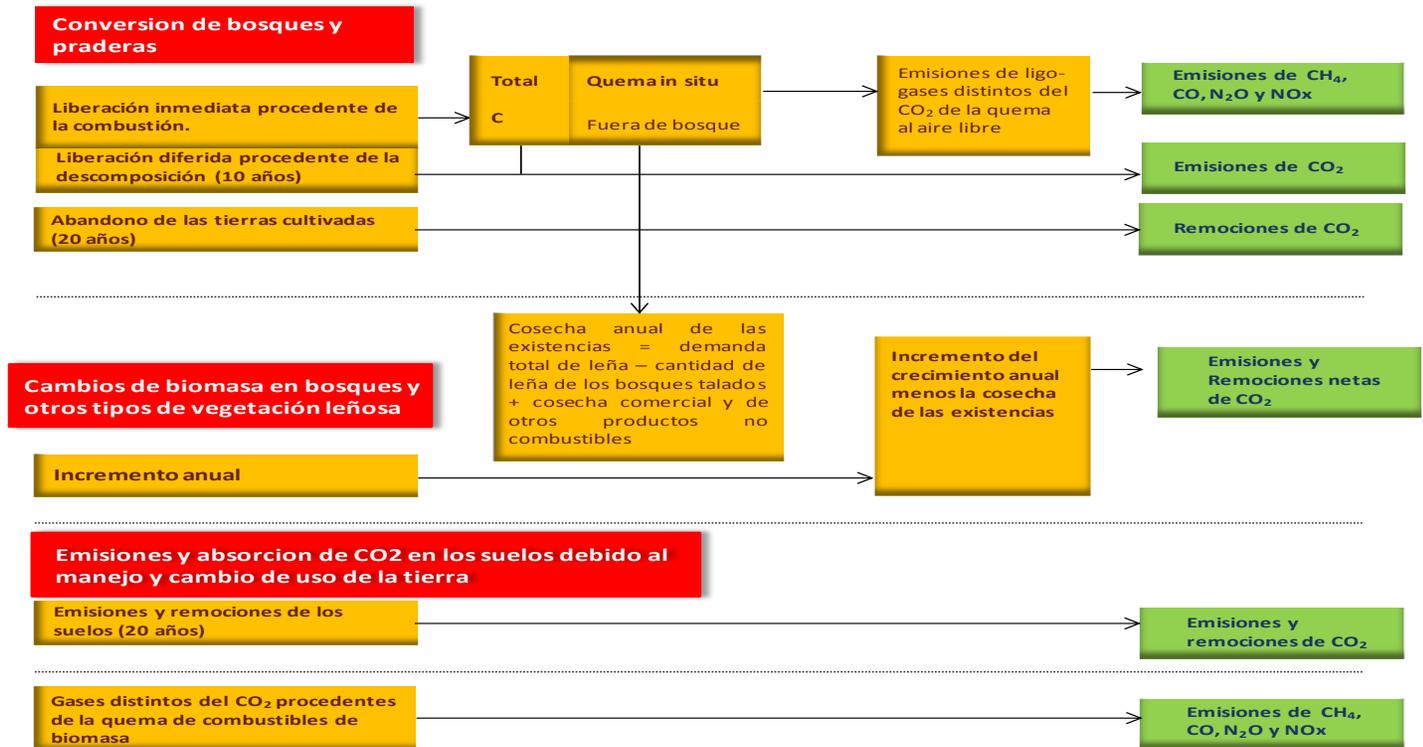


Figura 46. Categorías asociadas al cambio de uso de suelo y silvicultura.

A través de los años, la superficie vegetal ha presentado grandes cambios en su estructura y extensión original, en donde, las actividades antropogénicas como la deforestación, la agricultura, la ganadería, la industria, la expansión urbana y los incendios forestales han contribuido en gran medida en este proceso (CONABIO 2009).

Las series escala 1:250 000 de Información de Uso del Suelo y Vegetación generadas por el Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI) nos proporcionan una visión puntual de los cambios sucedidos en la cobertura vegetal a través de los años. Sin embargo, han presentado modificaciones en la clasificación y en la proyección de los datos. Por lo cual, la comparación entre ellas se dificulta principalmente con la primer serie.

Sin embargo, para poder generar la información requerida para la elaboración de este inventario, se realizaron las siguientes actividades y ajustes como son:

- Es indispensable conocer y estimar los cambios ocurridos en las distintas clases de cobertura vegetal. Para lo cual, se emplearon las series de uso de suelo y vegetación del INEGI Serie I (año base: 1985), Serie II(año base: 1994), Serie III(año base: 2002) y Serie IV (año base: 2007), mismas que fueron homologadas, para su comparación.
- Ya que están homologadas las series de vegetación y uso de suelos, estimar la superficie anual por cobertura vegetal y uso de suelos para los años 2005 y 2010.
- Agrupación de los diferentes tipos de vegetación y sumar las superficies para adaptarlas al software del IPCC 1996.
- Cruce de la información de las diferentes series de vegetación y uso de suelos de INEGI para obtener las matrices de cambio en la cobertura vegetal y uso de suelos para los años 2005 y 2010.
- Calcular la superficie que cambia de una clase a otra anualmente en promedio a los 10 y 20 años, así como la superficie abandonada con más de 20 años, para cada tipo de vegetación.
- Actualizar las densidades de la madera por especie, género y/o tipo de vegetación a través de la revisión de datos nacionales e internacionales.
- Identificar las clases de cobertura vegetal que cambian anualmente para el año 2005 y 2010 por medio de la serie IV de usos de suelos de INEGI sacando un promedio anual y asumiendo que es un cambio anualizado lineal.
- Actualizar las series históricas y bases de datos sobre: consumo de leña y producción forestal.
- Llenar los formatos de las directrices del IPCC de 1996 con los datos estatales y señalando el uso de valores por defecto del IPCC.

Cabe destacar que las series de vegetación y de uso del suelo del INEGI son un punto clave para la elaboración de este inventario. Las cuales fueron procesadas con el programa ArcGis versión 10; esto con la finalidad de elaborar las matrices de cambio, y así conocer que clases de vegetación cambiaron en su superficie de

un año de referencia con respecto a otro. Con los valores de serie a serie y asumiendo un cambio lineal anualizado, se obtuvo la superficie que cambio año con año. Debido a los requerimientos del inventario y a la disponibilidad de los datos proporcionados por las series de INEGI, a partir de los datos obtenidos con las matrices de cambio de la serie III a la IV; pudimos llenar el los datos para los años 2008, 2009 y 2010, al emplear el valor de la tendencia de cambio sucedida anualmente en el periodo antes mencionado. Mismos que, deberán ser corroborados al publicarse la nueva serie de INEGI. Dicha información se empleó en los submódulos de conversión de bosques y pastizales y abandono de tierras agrícolas.

Para poder realizar las actividades señaladas anteriormente, se conformó un equipo de trabajo integrado por investigadores y técnicos de diferentes especialidades y organizaciones, los cuales cuentan con experiencia en el tema de inventarios de gases de efecto invernadero.

Así mismo, de acuerdo a las directrices del IPCC, con la información disponible se elaboraron los árboles de decisiones de los siguientes submódulos, de color rojo se resaltan las decisiones que se tomaron para este inventario: Existencia de datos estatales para la elaboración del inventario (Figura 47), Conversión de bosques y praderas a tierras de cultivo (Figura 48), Abandono de tierras de cultivo (Figura 49), emisiones y absorciones de CO₂ en suelos debido a cambio de uso de tierras (Figura 50) y cambio de carbono en suelo minerales (Figura 51).

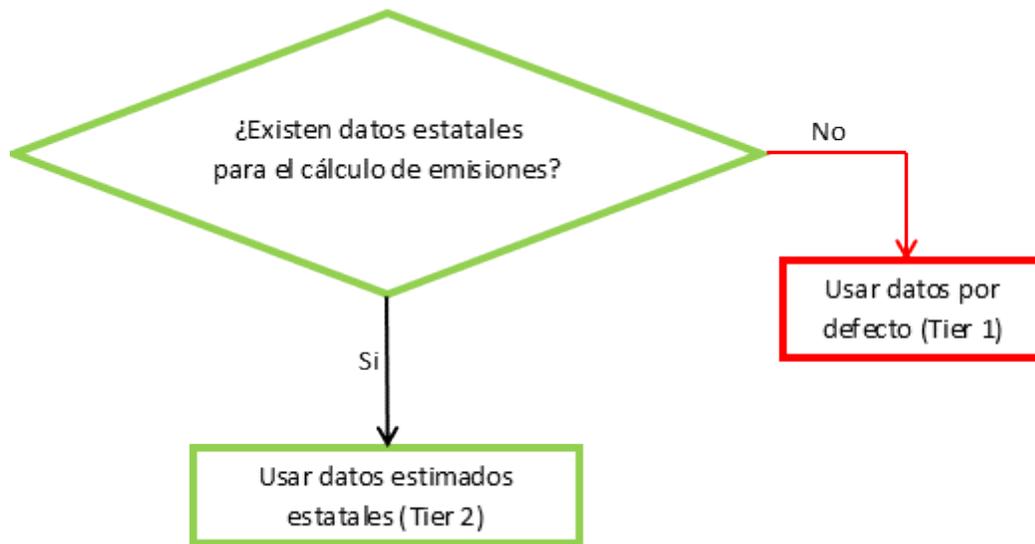


Figura 47. Árbol de decisión para la existencia de datos estatales para el cálculo de emisiones.

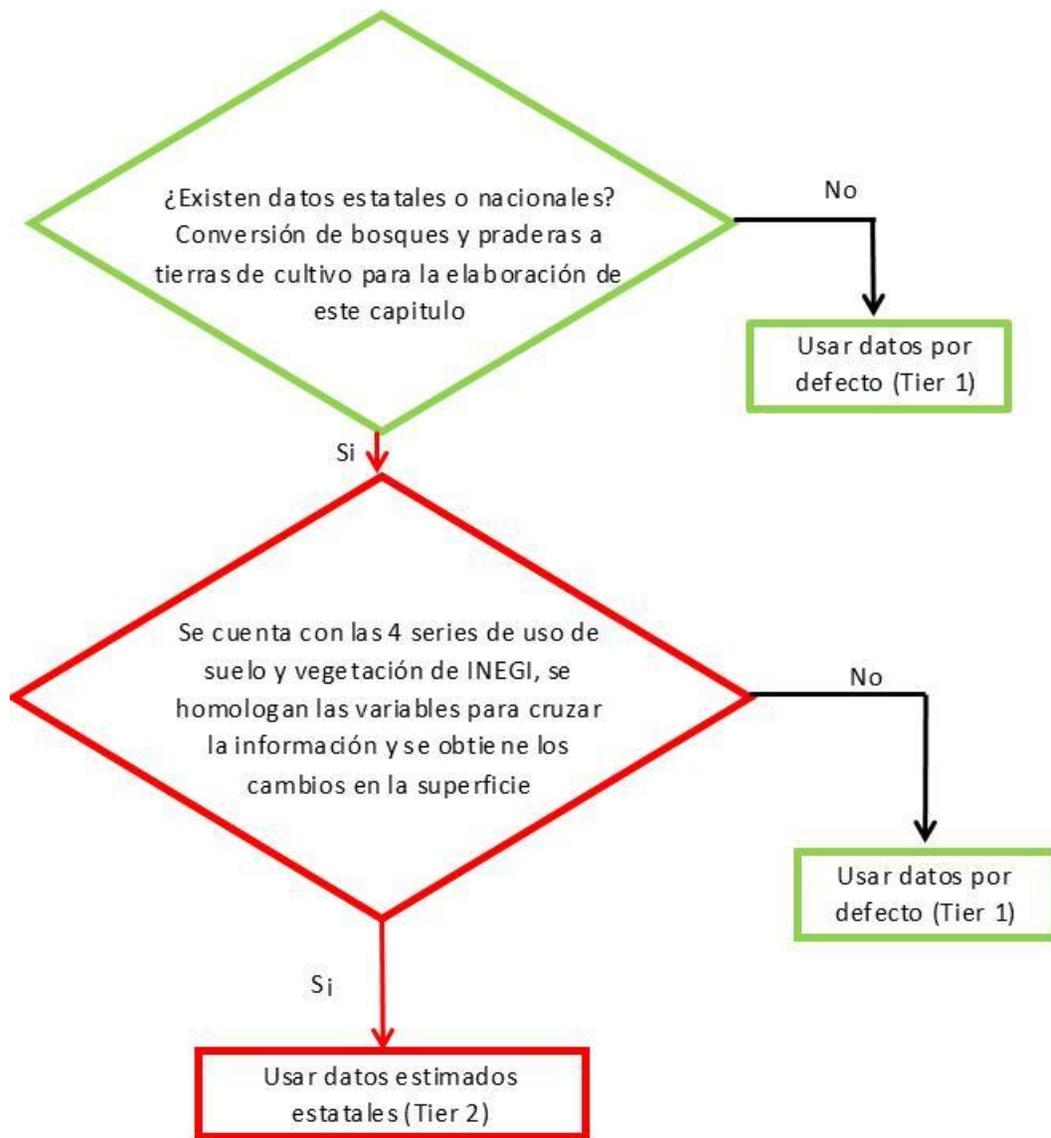


Figura 48. Árbol de decisiones para la conversión de bosques y praderas a tierras de cultivo.

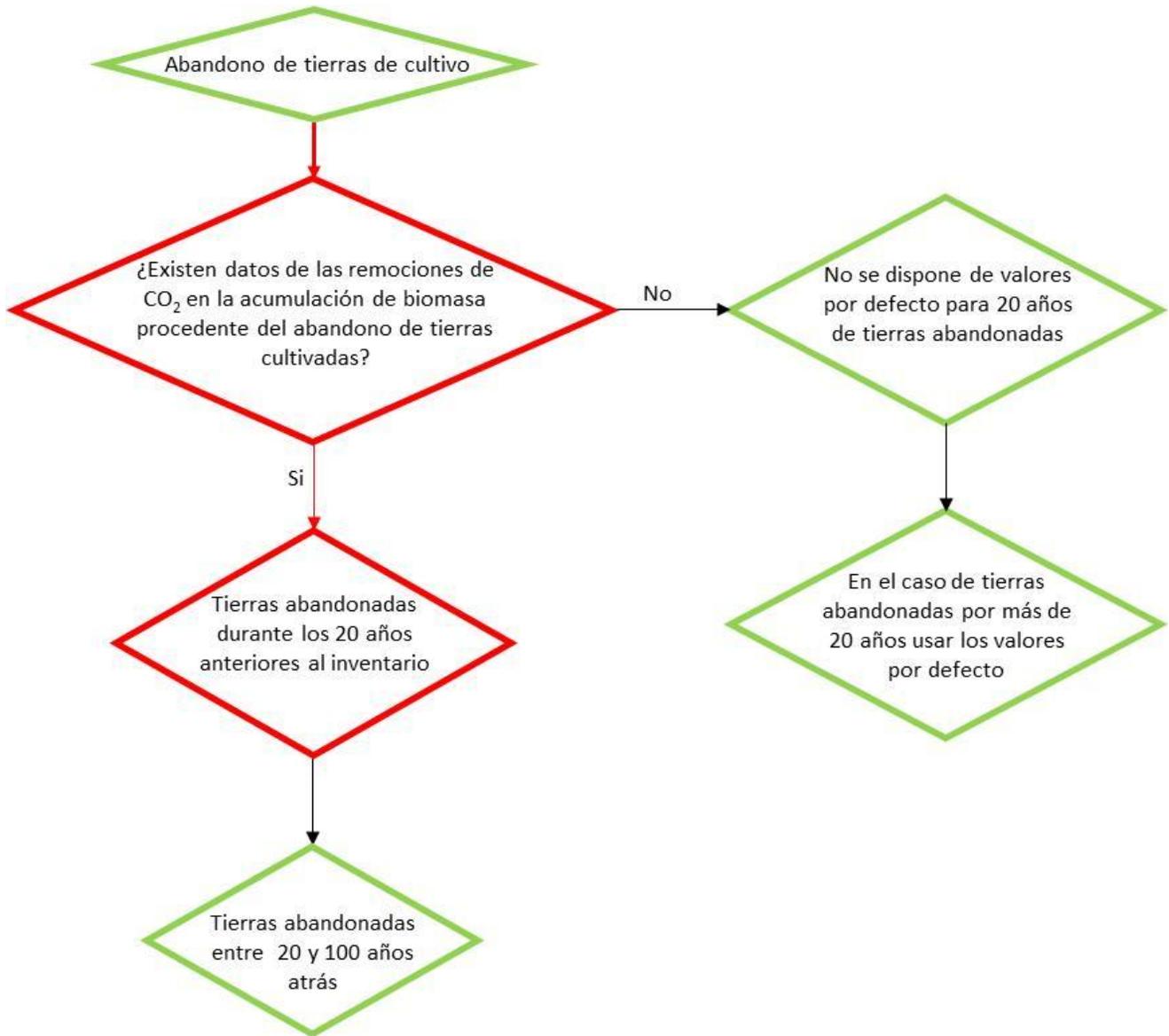


Figura 49. Árbol de decisión para el abandono de tierras de cultivo.

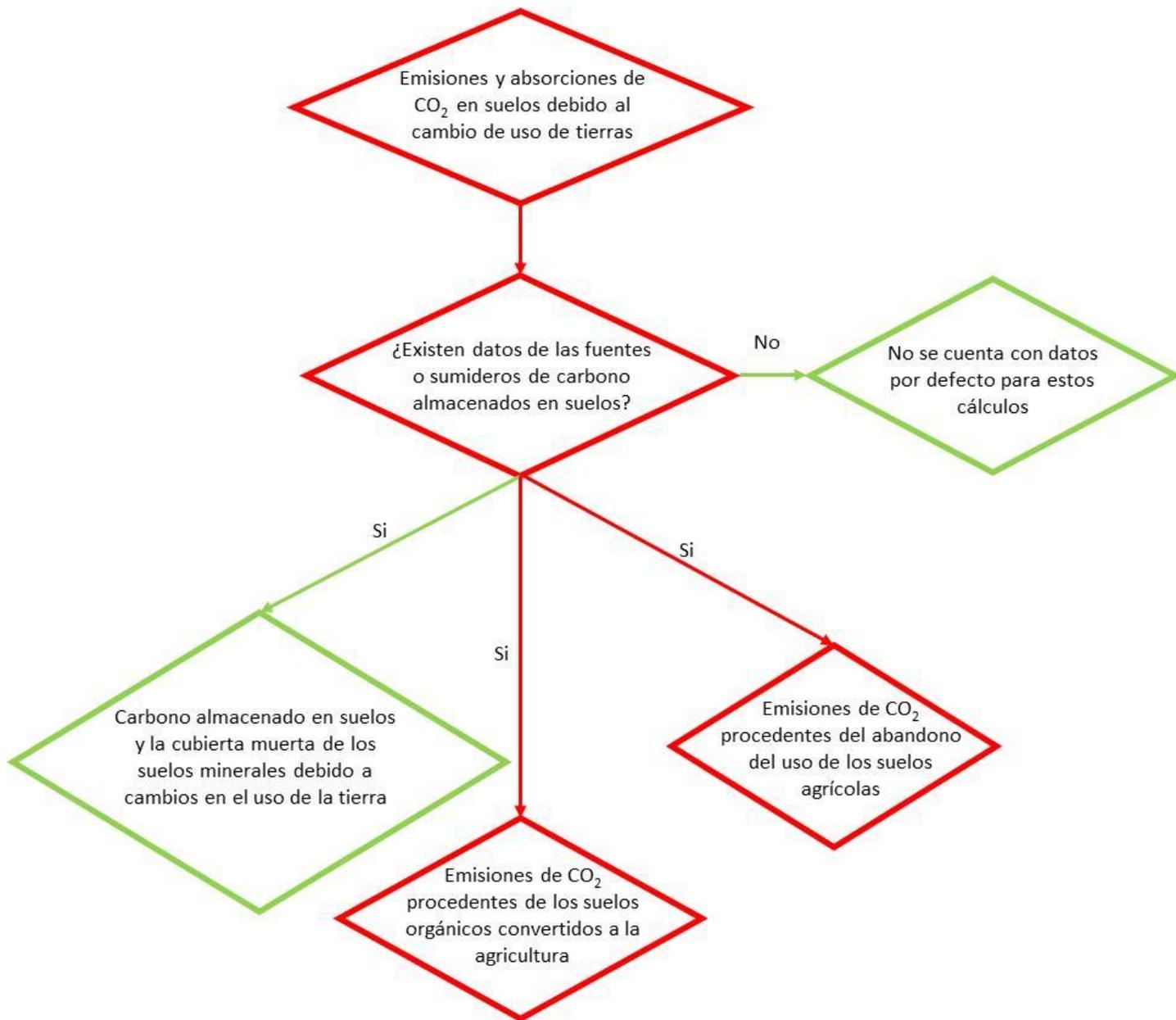


Figura 50. Árbol de decisión para la emisión y absorción de CO₂ en suelos.

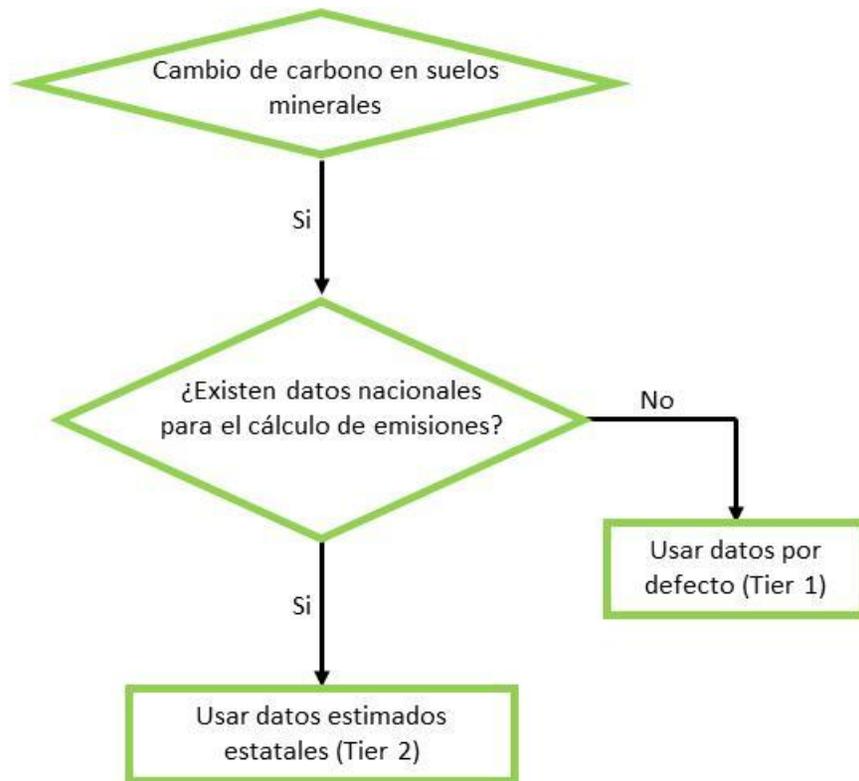


Figura 51. Árbol de decisión para cambio de carbono en suelo mineral.

Datos de Actividad

Una de las principales variables o datos de actividad en este sector corresponden a la superficie bajo manejo forestal maderable del estado, la producción forestal maderable comercial y tradicional, los cambios ocurridos en las coberturas vegetales y en suelos; cambios principalmente debidos a actividades agrícolas, ya sea por conversión o por regeneración de las mismas (en periodos de 10 y 20 años) y los contenidos de carbono en suelos orgánicos. Sin embargo, cabe señalar que en este inventario no se incluyó el análisis del contenido de carbono en suelo, ya que no se cuenta con datos estatales ni la información necesaria para realizar el cálculo. Asimismo, debido al limitado periodo de tiempo programado para la elaboración de este inventario resulta insuficiente para procesar la información necesaria. Sin embargo al ser el primer ejercicio, ya quedan sentadas las bases para la actualización de los datos.

Tomando en consideración lo anterior, este inventario tiene como objetivo calcular las emisiones y remociones derivadas del sector USCUSyS para los años 2005 y 2010, mediante datos actualizados de las superficies vegetales, crecimiento anual por tipo de vegetación, densidad promedio y contenido de carbono de las especies o tipos de vegetación, contenidos de carbono antes y después de la conversión por tipo de vegetación, superficie promedio convertida a los 10 y 20 años y la superficie abandonada después de 20 años.

Cambios de biomasa en bosques y otros reservorios de biomasa leñosa.

En esta subcategoría se estudian las emisiones o remociones de carbono, derivadas de los siguientes procesos:

- Cambio en la superficie bajo manejo y aprovechamiento forestal.
- Aprovechamiento forestal maderable.

La superficie bajo manejo forestal en el Estado de México ocupa una superficie de

13,248.92 hectáreas, y se ubica en los municipios de Amanalco y Valle de Bravo principalmente. La propiedad de la tierra puede variar de particular, a ejidal y comunal (Tabla 54).

Tabla 54. Superficie bajo manejo forestal autorizada en el Estado de México.

No. Prog	Superficie bajo manejo forestal	Municipio	Tipo de Propiedad
1	49.77	Amanalco	Particular
2	607.97	Amanalco	Comunal
3	11.36	Amanalco	Particular
4	12.38	Amanalco	Particular
5	1,390.19	Amanalco	Ejidal
6	1,591.00	Amanalco	Ejidal
7	145.03	Amanalco	Ejidal
8	557.12	Amanalco	Ejidal
9	421.68	Amanalco	Ejidal
10	1,108.19	Amanalco	Ejidal
11	655.9	Amanalco	Ejidal
12	550.13	Amanalco	Ejidal
13	475.18	Amanalco	Ejidal
14	558.12	Amanalco	Ejidal
15	809.3	Amanalco	Ejidal
16	485.45	Amanalco	Ejidal
17	234.27	Amanalco	Comunal
18	39.43	Amanalco	Ejidal
19	5.52	Amanalco	Particular
20	31.38	Amanalco	Ejidal
21	134.17	Amanalco	Ejidal
22	221.78	Valle de bravo	Comunal
23	15.62	Valle de bravo	Particular
24	55.94	Valle de bravo	Particular
25	10.7	Valle de bravo	Particular
26	34	Valle de bravo	Particular
27	10	Valle de	Particular

		bravo	
28	51.36	Valle de bravo	Particular
29	108.82	Valle de bravo	Particular
30	109	Valle de bravo	Particular
31	433.39	Valle de bravo	Particular
32	386.48	Valle de bravo	Ejidal
33	207.7	Valle de bravo	Particular
34	753.83	Valle de bravo	Particular
35	976.76	Valle de bravo	Comunal
Hectáreas	13,248.92		

Datos proporcionados por el IFAI 2013. Permisos autorizados vigentes al 31 de mayo del 2012

Ante la problemática actual que representa el calentamiento global, se han propuesto alternativas que permiten reducir las concentraciones de CO₂ atmosférico. En donde, la captura o secuestro de carbono es un modelo que permite retirar el CO₂ de la atmosfera (Ordoñez y Masera, 2001). En dicho modelo, la densidad de la madera se ocupa para calcular la biomasa aérea de cada tipo de vegetación con lo cual, se puede realizar una estimación adecuada de la biomasa de un bosque, y determinar los montos de carbono y otros factores químicos existentes en cada uno de sus componentes, lo cual se traduce en la cantidad potencial de carbono que puede ser liberado a la atmósfera, o retenido en una determinada superficie (Brown et al., 1996).

En este inventario se proporciona la densidad de la madera para el listado forestal proporcionado por el inventario forestal del Estado de México, y consta de 81 especies de árboles, los cuales están distribuidos en los 12 ecosistemas del estado (Tabla 55); mas 17 especies no determinadas. Para encontrar la densidad por especie se realizó una extensa búsqueda en referencias nacionales e

internacionales. En la tabla 55 se presenta la densidad promedio por tipo de ecosistema.

Tabla 55. Densidad promedio de la madera para los distintos ecosistemas reportados en el Estado de México.

Ecosistema	Densidad promedio madera (g/cm³)
Bosque de encino	0.71
Bosque de encino-pino	0.64
Bosque de Galería	0.56
Bosque de oyamel	0.50
Bosque de pino	0.51
Bosque de pino- encino	0.65
Bosque de táscate	0.57
Bosque mesófilo de montaña	0.59
Matorral crasicaule	0.69
Mezquital	0.87
Selva baja caducifolia	0.57

Crecimiento medio anual de la biomasa por regeneración.

Las emisiones generadas por el crecimiento de la biomasa, se derivan de la dinámica propia de las diferentes coberturas vegetales, aunada al uso que sus propietarios quieran darle al promedio donde ocurre la vegetación (Jong y colaboradores, 2010). Por ello, es necesario saber cuánto crecen las diferentes coberturas vegetales y se incluyen los valores del crecimiento medio anual de biomasa.

Producción forestal maderable en el Estado de México.

Si bien, México es un país que cuenta con una gran cantidad de recursos naturales y diversidad biológica (Conabio,2009), sufre de graves problemas ambientales, tales como la sobreexplotación, la contaminación, la pérdida de biodiversidad, la degradación de suelos y como el de mayor relevancia la deforestación (Céspedes, 2010). Algunos de los factores que más influyen en este

proceso son: la tala clandestina, la expansión de la frontera agrícola, ganadera y urbana.

El volumen de producción forestal maderable en el Estado de México se obtuvo de los anuarios estadísticos de producción forestal de SEMARNAT que es de 186,369 m³r en el 2005, mientras que, en el 2010 es de 195,833 m³r, en la figura 52 se muestra el valor desagregado por género.

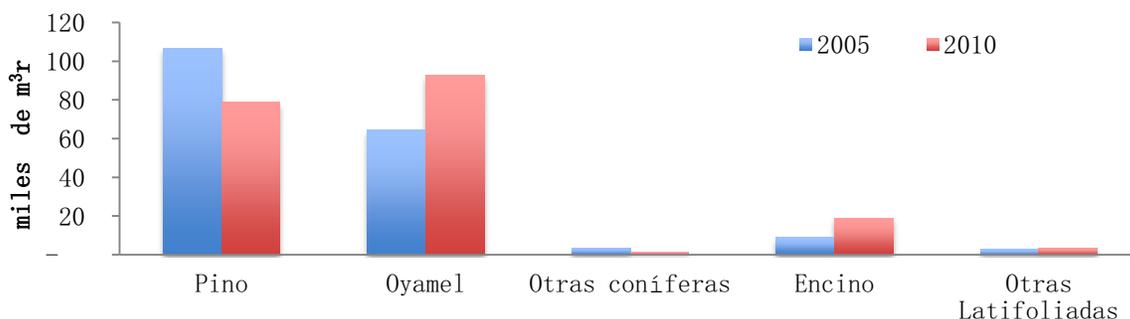


Figura 52. Producción forestal maderable en el Estado de México.

Cabe señalar la producción forestal maderable es un dato muy importante para el balance de emisiones y captura de carbono en la sector USCUSyS.

Consumo de leña en el Estado de México.

El consumo de leña como combustible contribuye de manera considerable con el aporte de emisiones de GEI a la atmósfera. Asimismo, estas emisiones también afectan la salud de los usuarios de fogones abiertos, pues la exposición constante a dichos gases puede ser un factor de riesgo para la salud, principalmente de niños y mujeres (Masera, 2004; Armendáriz, 2010). Para algunos de los habitantes del Estado de México, el consumo de leña es una fuente de energía necesaria para sus hogares. La leña es un combustible de bajo costo y se ocupa para cocinar y calentar sus viviendas en temporada de frío. El consumo de leña se utiliza en las zonas rurales y semi-urbanas, un ejemplo claro sucede en el Valle de Toluca.

Los datos de actividad del consumo de leña se obtuvieron de la base proporcionada por la SENER (2011), en donde, se reporta el consumo de leña por municipio. En la siguiente figura, se representa el consumo de leña para los años de estudio (Figura 53).

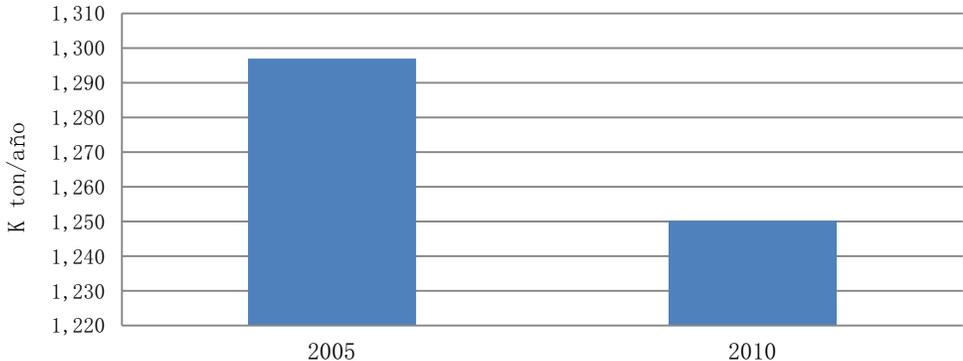


Figura 53. Consumo de leña para el Estado de México (SENER).

Incendios forestales

Si bien, algunos ecosistemas dependen del fuego para mantener su dinámica interna, en otros, los incendios forestales pueden ser devastadores y causar daños en los bienes humanos y naturales (FAO, 2007). Cabe señalar que los incendios forestales son una de las variables que intervienen en el cambio de uso de suelo, ya sean provocados por prácticas agrícolas, ganaderas o por eventos naturales.

La superficie afectada por los incendios en el Estado de México ha disminuido de 7,422 hectáreas en el 2005 a 3,127 ha en el 2010. Para ambos años, la cobertura vegetal más afectada por los incendios es el matorral, posteriormente los pastizales y los renuevos (Figura 54).

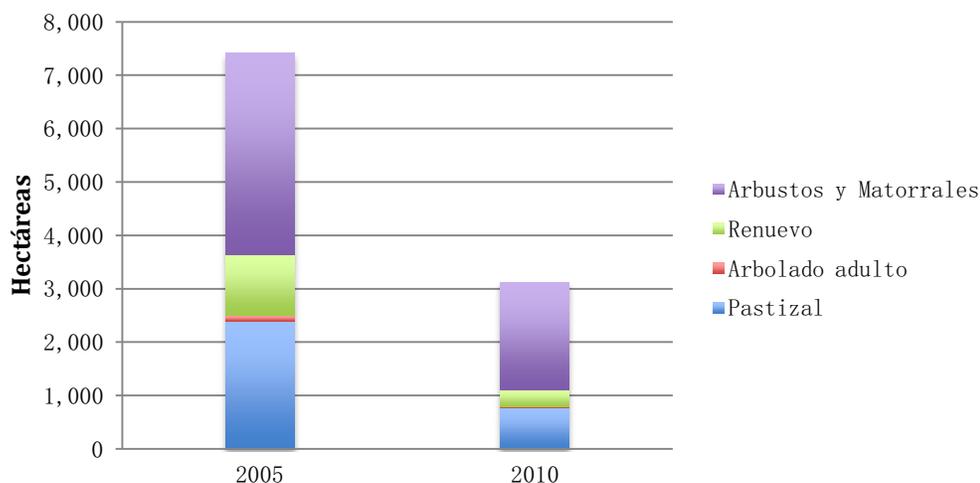


Figura 54. Superficie afectada por incendios en el Estado de México (ha).

Los incendios son una fuente importante de emisiones de GEI, ya que pueden representar la pérdida de importantes reservorios de carbono. Asimismo, son un importante factor de cambio del uso de suelo. A nivel mundial existen diferentes evidencias de que el cambio climático ha modificado las condiciones micro climáticas que presentan las diferentes coberturas vegetales dando como resultado, estaciones secas más prolongadas, lo cual facilita la generación de incendios de gran magnitud en duración, y extensión afectada, pero un dato muy importante que nos indican las estadísticas es que más del 95% de los incendios son ocasionados por el hombre (CONAFOR, 2012).

Conversión de bosques y pastizales a tierras de cultivo.

Los cambios en el uso de la tierra, como la conversión de bosques y pastizales, generan como resultado una serie de efectos negativos sobre la integridad del medio y la provisión de los servicios ambientales, entre los que resaltan, la captura y aporte de agua, la fertilidad del suelo, la pérdida de especies vegetales, el deterioro del hábitat entre otros. Así como las consecuentes emisiones de carbono contenido en la biomasa vegetal (Ordoñez, 2008).

A partir de la homologación y del cruce de las series I & II, II & III y III & IV de uso de suelo y vegetación del INEGI se estimó la conversión anualizada para el

periodo de tiempo comprendido 1985-2007, sin embargo, en este inventario solo se emplearon los datos para los años 2005 y 2010. Los valores para los años 2008, 2009 y 2010 se obtuvieron al emplear el valor de la tendencia de cambio sucedida anualmente en el periodo de la serie III a la IV. Los valores empleados para la conversión de bosques y pastizales a tierras de cultivo se muestran en la tabla 56. Con esta misma serie se obtuvo otra de las variables requeridas para el inventario, la cual es el cambio en la biomasa en bosques en un promedio de diez años.

Tabla 56. Conversión de bosques y pastizales a tierras de cultivo (valor anualizado Kha).

Cobertura vegetal	2005	2010
Bosque de Coníferas y latifoliadas	3.62	3.62
Matorral	0.04	0.04
Selva baja	0.53	0.53
Pastizal	2.22	2.22
Total	6.40	6.40

Datos generados a partir de las series de uso de suelo y vegetación del INEGI.

En esta tabla se muestra el valor anualizado del cambio en la cobertura vegetal que sucedió en el periodo comprendido de una serie respecto a otra. En este caso, la serie III y la IV motivo por el cual, el valor es el mismo para ambos años. Mientras que en la tabla 57 se presenta el valor del cambio en la cobertura vegetal en un periodo de 10 años

Tabla 57 Conversión de Bosques y pastizales a tierras de cultivo (promedio de 10 años K ha).

Cobertura vegetal	2005	2010
Bosque de Coníferas y latifoliadas	2.95	3.50
Matorral	0.10	0.05
Selva baja	0.33	0.50
Pastizal	0.95	2.01
Total	4.33	6.06

Datos generados a partir de las series de uso de suelo y vegetación del INEGI.

Abandono de tierras bajo manejo

Los principales factores que intervienen en el abandono de tierras bajo manejo se deben principalmente a la pérdida de la rentabilidad de las actividades que se desarrollan. Algunas prácticas como el cultivo excesivo que desgasta los suelos, el sobrepastoreo y la deforestación que destruyen la cubierta vegetal que protege el suelo de la erosión, y los drenajes inapropiados de los sistemas de irrigación que provocan la salinización de los suelos, conllevan a fuertes procesos de desertificación (Unesco, 2013). Lo cual a su vez propicia fuertes tendencias de migración.

Por ejemplo, tan solo el año 2000 en el Estado de México, se registró una emigración del 4.1% de la población mayor de 5 años, el 3.47% se fue a otra entidad, 0.10% se fue a los EUA, a otro país 0.03% y 0.51% no especificado. (Gov. Edo. Méx., 2010).

Los valores empleados para este sub-módulo se muestran en la tabla 58 y corresponden a la regeneración de tierras abandonadas en un periodo de 20 años. La acumulación de carbono en las tierras abandonadas depende del tipo de ecosistema natural (tipo de bosque o pradera) que vuelve a crecer (IPCC, 1996).

Tabla 58. Regeneración de tierras abandonadas (20 años) Kha.

Cobertura vegetal	2005	2010
Bosque de Coníferas y latifoliadas	94.21	77.82
Matorral	5.19	3.02
Selva	23.27	16.02
Pastizal	306.07	311.56
Total	428.73	408.42

Datos generados a partir de las series de uso de suelo y vegetación del INEGI.

Al suceder el cambio de una cobertura vegetal a otra, se puede ocasionar una modificación drástica de la superficie. En un modelo natural, estos cambios ocurren de manera muy lenta, sin embargo si corresponden a la intervención humana, se recorta el tiempo de cambio.

Fuentes de información.

La elaboración de éste documento parte de una revisión detallada de la bibliografía disponible para el Estado de México, entre la que se encuentra la proporcionada por fuentes oficiales como: la SEMARNAT, la CONAFOR, el INEGI, PROBOSQUE, la SENER el IFAI, literatura especializada en el tema y la cooperación del Gobierno del Estado de México.

Para obtener los cambios en la cobertura vegetal en el periodo requerido por las metodologías del IPCC, se emplearon las 4 series de uso de suelo y vegetación del INEGI serie 1 (1985), serie II (1994), serie III (2002) y la serie IV (2007)).

En las metodologías del IPCC se propone una clasificación de la vegetación que no es del todo apropiada para nuestro estado. Motivo por el cual, se realizó una homologación de clases que nos permitiera hacer comparables los datos disponibles entre si y representarlos de una manera sencilla.

Una vez homologadas las cuatro series de uso de suelo y vegetación del INEGI se procede a clasificar por tipos vegetación (género o familia), para posteriormente agruparlas en las siguientes clases de cobertura vegetal (Tabla 59).

Tabla 59. Homologación de clases para la elaboración de las matrices de cambio.

SERIES INEGI	
Cobertura vegetal	Agrupación empleada para el inventario
Agricultura de humedad	Agropecuario
Agricultura de riego	
Agricultura de temporal	
Bosque cultivado	Bosque de Coníferas y latifoliadas
Bosque de cedro	
Bosque de encino	
Bosque de encino-pino	
Bosque de oyamel	
Bosque de pino	
Bosque de pino-encino	
Bosque de táscate	
Bosque mesófilo de montana	
Bosque de galería	
Cuerpo de agua	
Matorral crasicaule	Matorral
Matorral desértico rosetófilo	
Mezquital	
Pastizal halófilo	Pastizal
Pastizal inducido	
Pradera de alta montana	
Selva baja caducifolia	Selva baja
Zona urbana	Zona Urbana
Asentamientos humanos	
Tular	
Palmar inducido	Otros
Vegetación halófila hidrófila	
Sin vegetación aparente	Sin Vegetación

Datos procesados a partir de las series de uso de suelo y vegetación del INEGI (serie I, Serie II, Serie III y Serie IV)

Ya con las agrupaciones mostradas en la tabla anterior, se elaboraron los cruces de vegetación empleando el programa ArcGis.

Para generar las matrices de cambio; primero se realizó el cruce de la serie I con la serie II en donde transcurrió un periodo de 9 años, la serie II con la serie III en donde también transcurrió un periodo de 9 años y la serie III con la serie IV que considera un periodo de 6 años.

La suma total de los valores obtenidos por los cruces de las series nos proporciona la estimación del proceso de cambio que sufre la superficie forestal, donde asumimos que el cambio es lineal por lo tanto dividimos entre el número de años transcurridos en el periodo que hay entre cada una de las series, esto para poder obtener el valor anualizado. Asimismo, como resultado del cruce de las series de INEGI, se generó cartografía detallada para el estado de México, la cual muestra los procesos de cambio en la cobertura vegetal como: la deforestación, la regeneración, el crecimiento urbano y el cambio en los cuerpos de agua. (Figura 55).

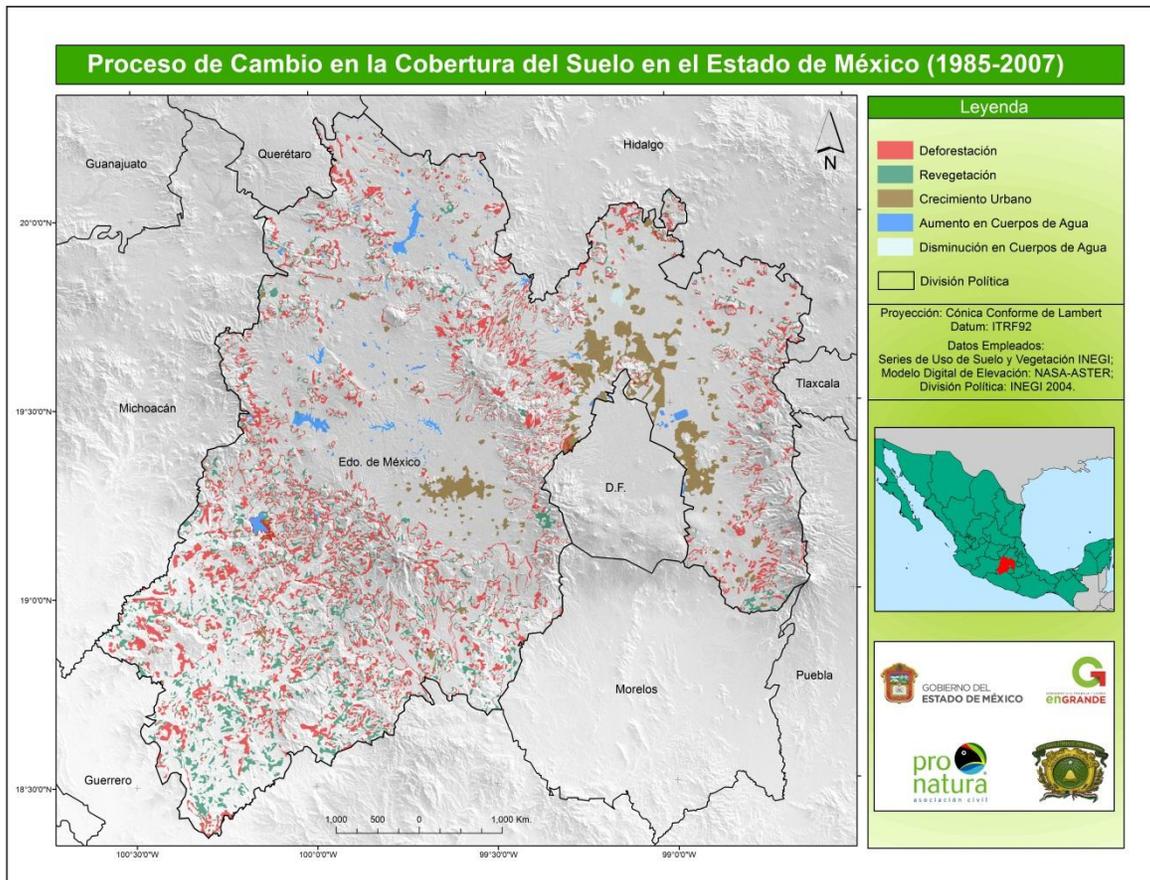


Figura 55. Procesos de cambio de la cobertura vegetal en el Estado de México (generado a partir de las series de uso de suelo y vegetación del INEGI).

Sin una expresión cartográfica resulta difícil entender la relación entre los procesos de cambio ocurridos en la cobertura vegetal, y los fenómenos asociados, tales como: el ciclo hidrológico, la fragmentación del hábitat, la pérdida de biodiversidad, las emisiones de carbono, la pérdida de servicios ambientales, entre otros temas de relevancia económica y social (Sohares et al., 2006). Asimismo, se dificulta llevar a cabo la evaluación de las tasas de cambio, sucedidas en la cobertura vegetal. Mismas, que son requeridas para poder hacer un correcto aprovechamiento de los recursos naturales disponibles en el estado.

Los valores empleados para la densidad de la madera se tomaron del INEGI 2008 proporcionados por el INE y por de Jong y colaboradores ya que el Estado carece de la información puntual de los cambios en la biomasa.

Las estadísticas de los incendios forestales se obtuvieron de los reportes de resultados de incendios forestales 2005 y 2010 (SEMARNAT Y CONAFOR), al considerar el periodo de estudio (2005-2010).

Para poder analizar la conversión de bosques a pastizales, nos auxiliamos en el análisis de las series de uso de suelo y vegetación del INEGI. Las series de vegetación y uso de suelo permiten mediante una buena interpretación el poder cuantificar los cambios sucedidos en las distintas coberturas vegetales. Del mismo modo, nos permiten planear el desarrollo de actividades como: la ganadería, la agricultura, la minería, la silvicultura y la expansión urbana. Como podemos observar, las actividades humanas tienen un alto impacto en la estructuración de las comunidades vegetales, pues en la mayoría de los casos, no se cuenta con un adecuado ordenamiento territorial y dichas actividades terminan por desarrollarse en zonas que pueden no ser las mejores para dicha actividad.

Factores de Emisión

Los factores empleados en el subcategoría Cambios en bosques y otros reservorios leñosos son los sugeridos por el IPCC (1996) y se muestran en la siguiente tabla 60.

Tabla 60. Factores de emisión empleados en el subcategoría cambios en bosques y otros tipos de biomasa leñosa.

Factor		Unidades	Referencia
Rango anual de crecimiento	1.3	(t ms/ha)	INEGEI, 2008
Relación de conversión/expansión de la biomasa	1.1	(t ms/m ³)	IPCC,1996
Fracción de carbono	0.45		IPCC,1996

Mientras que, los empleados en la subcategoría de Conversión de Bosques y Pastizales a tierras de cultivo, corresponde en su mayoría a los sugeridos por defecto por el IPCC y se encuentran en la tabla 61.

Tabla 61. Factores de emisión empleados en el subcategoría de Conversión de Bosques y Pastizales a tierras de cultivo.

Factores de emisión empleados en el subcategoría de Conversión de Bosques y Pastizales a tierras de cultivo		
Fracción de biomasa quemada in-situ	Fracción de biomasa oxidada in-situ	Fracción de carbono de la biomasa aérea (quemada in-situ)
0.4	0.9	0.45
Fracción de la biomasa quemada fuera del bosque	Fracción de la biomasa oxidada fuera del bosque	Fracción de carbono liberado (de la biomasa aérea quemada fuera del bosque)
0.5	0.9	0.5
Fracción abandonada que se descompone	Fracción de carbono en la biomasa aérea	
0.5	0.45	

Valores por defecto propuestos por el IPCC, 1996.

Los factores de emisión empleados en la subcategoría Abandono de Tierras Bajo Manejo Forestal se muestran en la tabla 62 y corresponden a estudios de caso y los empleados en otros inventarios de GEI.

Tabla 62. Factores de emisión para antes y después de la conversión.

Cobertura vegetal	Biomasa antes de la conversión (t dm/ha)	Biomasa después de a conversión (t dm/ha)	Referencia
Pastizal	0.4	0.04	Ordoñez, 2008
Bosque de coníferas y latifoliadas	231.4	52	Ordoñez, 2008
Matorrales y arbustos	70.6	5.34	Ordoñez, 2008
Selva Baja	78	21	IEEGEI. Puebla

Resultados

Las emisiones generadas por el sector de USCUSyS en el Estado de México son de 2,871.2 Gg de CO₂ en el 2005, mientras que en el 2010 equivalen a 2,937.7 Gg de CO₂. Cabe señalar que la subcategoría que más contribuye en emisiones es el de Cambio en bosques y Otros Reservorios Leñosos. Como ya se mencionó, en este rubro se evaluó la superficie bajo manejo forestal, en donde se encuentran los aprovechamientos forestales autorizados. Asimismo, se incorpora la producción forestal maderable (m³r) y el consumo de leña Kton/año.

Las emisiones generadas en la subcategoría antes mencionada en el 2005 fueron (1,886.82 Gg de CO₂), superiores a las del 2010 (1,826.84 Gg de CO₂), esto debido a una baja en la producción forestal maderable en el 2010. Si bien, el volumen de madera aprovechada parece estar disminuyendo, la producción forestal reportada por fuentes oficiales, puede no representar del todo la realidad de la cosecha forestal maderable, pues no se considera el aprovechamiento informal, el cual puede ser legal o ilegal, el aprovechamiento de plantaciones forestales comerciales y la extracción en sistemas agroforestales (Caballero, 2010), los cuales, pueden superar en mucho el volumen reportado. (figura 56)

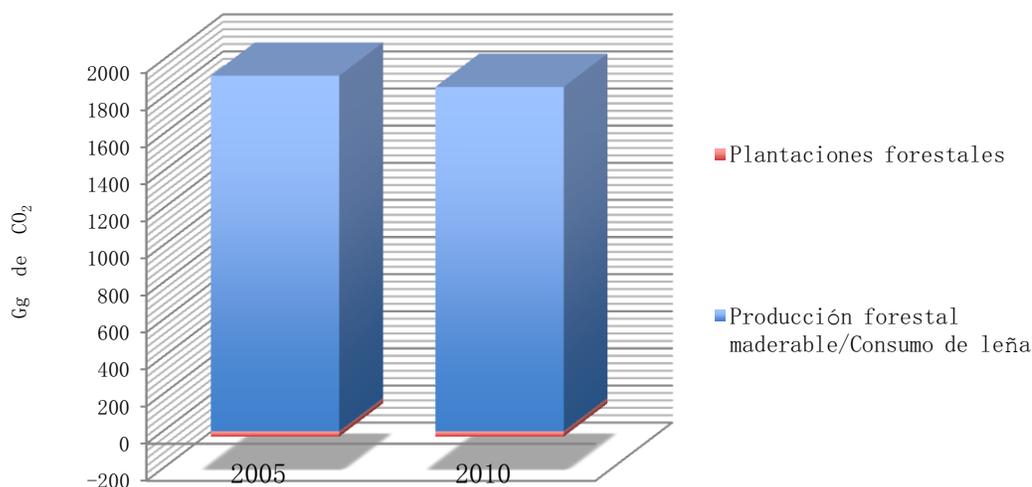


Figura 56. Emisiones de CO₂ (Gg) generados por el cambio en bosques y otros almacenes de biomasa leñosa.

En la subcategoría, Conversión de Bosques y Pastizales a tierras de cultivo la tasa de emisiones de GEI se incrementó en un 6%, siendo que en el 2005 se emitieron 1,466.73 Gg de CO₂, mientras que en el 2010 las emisiones fueron de 1,554.5 Gg de CO₂ (Tabla, 55). A nivel de cobertura vegetal, la conversión de los bosques de coníferas y latifoliadas es la superficie que más se ve afectada, lo cual obedece a una mayor tasa de emisiones. En cuanto a los matorrales, éstos presentan una disminución en emisiones. De manera contraria, los pastizales y la selva baja incrementan su aporte de emisiones al 2010 (Figura 57).

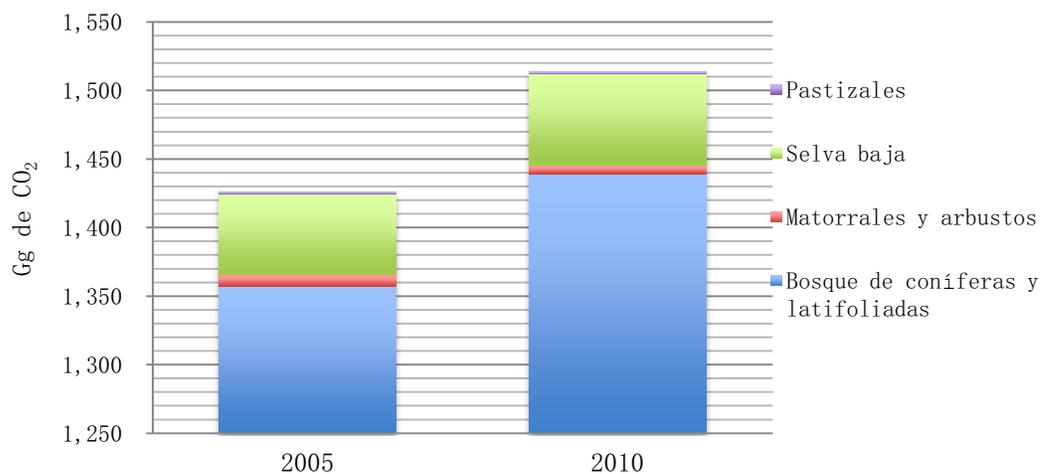


Figura 57. Emisiones de CO₂ (Gg) generados por la conversión de bosques y pastizales a tierras de cultivo.

Abandono de Tierras Bajo Manejo Forestal.

El proceso de regeneración de la cobertura vegetal requiere de largos periodos de tiempo. Al considerar la serie temporal empleada en este inventario, y requerida por el IPCC, la cual es de 20 años. Podemos notar que la captura de CO₂ disminuye de 482.3 Gg de CO₂ en el 2005, a 443.63 en el 2010 lo cual equivale a un 8% respecto al año base (Tabla 63). Este proceso se debe principalmente a que la cobertura vegetal que se regenera es cada vez menor. Cabe señalar que los matorrales y la selva baja son las superficies vegetales más afectadas o con menor superficie regenerada.

Sin embargo, por su extensión, la cobertura vegetal que más CO₂ retira de la atmósfera es el pastizal, la cual capturan en el 2005 un total de 267.6 Gg de CO₂, mientras que en el 2010 es de 271.4 Gg. Posteriormente, el bosque de coníferas y latifoliadas retirando 170.9 Gg de CO₂ en el 2005 y 141.2 Gg en el 2010 (Figura 58).

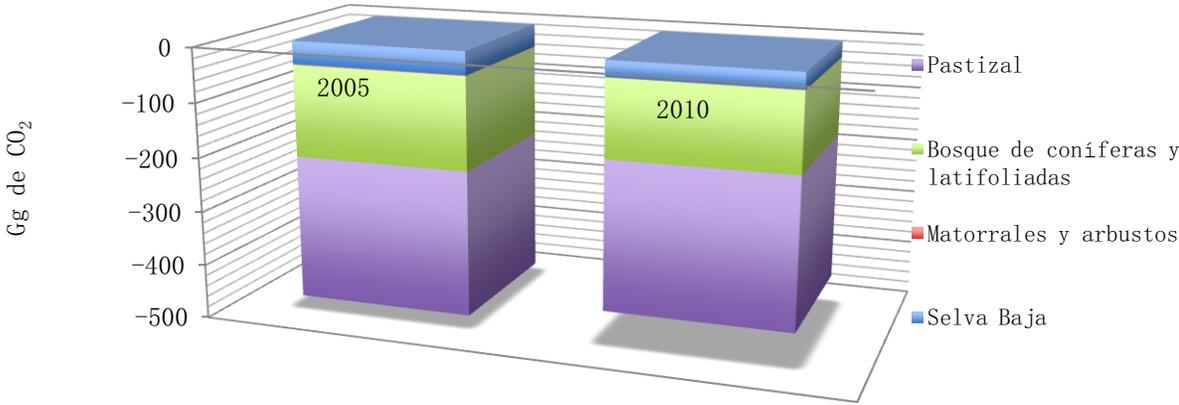


Figura 58. Emisiones de CO₂ (Gg) generadas por el abandono de tierras manejadas.

Emisiones generales

Ya sea para la regeneración y/o conversión de la cobertura vegetal, la evaluación de los cambios ocurridos en la cobertura vegetal, nos permite entender las causas y posibles consecuencias de la tendencia de los procesos de degradación, desertificación, disminución de la biodiversidad, y en general de la pérdida del capital natural (Mas, 2009). Asimismo, a partir de estas tendencias, se pueden diseñar modelos de las posibles consecuencias generadas por el cambio climático global, entre los que se encuentran los modelos de vulnerabilidad.

A nivel general, este sector muestra un incremento en sus emisiones de GEI, el cual corresponde al 2.35% respecto al año base (Tabla 63 y Figura 59).

Tabla 63. Resumen general de emisiones para el sector USCUSyS en el Estado de México expresados en Gg de CO₂.

Categoría	2005	2010	Incremento % (+/-)
Cambios en Bosques y Otros Reservorios Leñosos	1,886.82	1,826.84	-3.18
Conversión de Bosques y Pastizales a tierras de cultivo	1,466.73	1,554.5	6.16
Abandono de Tierras Bajo Manejo Forestal	-482.3	-443.63	-8.02
Emisiones Procedentes de Suelos Orgánicos	ND	ND	ND
TOTAL	2,871.2	2,937.7	2.35

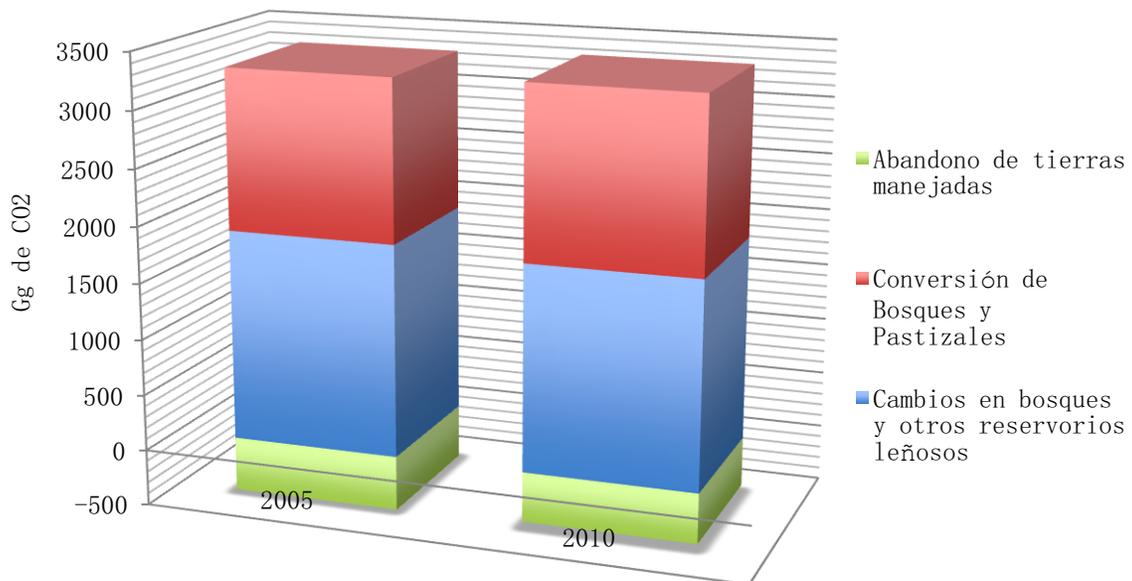


Figura 59. Emisiones y remociones en el sector USCUSyS.

Discusión de Resultados

En respuesta a la problemática de cambio de uso de suelo la CONAFOR (PROBOSQUE), ha implementado el programa de “Reforestación y Restauración Integral de Microcuencas” (PRORRIM). Este programa tiene como objetivo proteger la integridad de las cuencas hidrológicas y almacenamiento de agua, mediante el otorgamiento de apoyos transitorios para fomentar el establecimiento y el mantenimiento de las reforestaciones y plantaciones forestales comerciales, (Gov. Edo. Méx., 2013). De acuerdo a la SEMARNAT, en el 2005 se estima que la superficie reforestada para el Estado de México fue de 15,412 hectáreas, mientras que en el 2009 de 13,189 (SEMARNAT, 2012).

La conversión de bosques y pastizales a tierras de cultivo es un proceso que obedece principalmente a las necesidades productivas de la población (Ganadería, silvicultura, expansión urbana, entre otras); estos cambios en la composición y estructura del ecosistema pueden afectar de manera directa la estabilidad del ecosistema y por consecuente, la provisión de los servicios ambientales. Se estima que la población del estado de México que habita en zonas forestales o que depende de las actividades forestales se distribuyó principalmente (hasta el año 2005) en 58 de los 125 municipios. La población de estas localidades se cuantificó en 69,073 habitantes (INEGI, 2005). Haciendo notar que las zonas de interacción, correspondientes a los límites de la ciudad y los bosques, son especialmente vulnerables al cambio de uso de suelo.

El proceso de regeneración de la cobertura vegetal requiere de largos periodos de tiempo. Al considerar la serie temporal empleada en este inventario, y requerida por el IPCC, la cual es de 20 años. Podemos notar que la captura de CO₂ disminuye de 482.3 Gg de CO₂ en el 2005, a 443.63 en el 2010. En el caso del Estado de México, el gobierno estatal promueve la explotación forestal mediante la reconversión de terrenos agrícolas de baja productividad, a plantaciones forestales comerciales, siendo ésta, una de las alternativas viables para garantizar el

abastecimiento de la industria forestal. Estudios del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) indican que en el Estado de México existen 60,000 hectáreas con potencial para el establecimiento de este tipo de plantaciones (Gob. Edo de México).

Por lo cual, el aprovechamiento maderable de los bosques es una alternativa legal, técnica y ambientalmente viable que puede mejorar las condiciones de vida de los productores forestales. Esto mediante la generación de ingresos económicos y la creación de empleos. Con lo cual, se logra que los ejidatarios, comuneros y pequeños propietarios, participen directamente en su protección contra incendios y tala clandestina. (Gobierno del Edo. Méx. 2013). Asimismo, representa oportunidades de investigación, que permitan obtener factores como el crecimiento anual de la vegetación bajo manejo, contenidos de carbono de suelos y biomasa aérea; ya que estos datos son necesarios para la elaboración de los inventarios de GEI.

Ya sea para la regeneración y/o conversión de la cobertura vegetal, la evaluación de los cambios ocurridos en ésta, nos permite entender las causas y posibles consecuencias de la tendencia de los procesos de degradación, desertificación, disminución de la biodiversidad, y en general de la pérdida del capital natural (Mas, 2009). Asimismo, a partir de estas tendencias, se pueden diseñar modelos de las posibles consecuencias generadas por el cambio climático global, entre los que se encuentran los modelos de vulnerabilidad.

Como ya se mencionó, el sector forestal es vulnerable a diferentes actividades productivas. Sin embargo, numerosas investigaciones concuerdan que la capacidad de los bosques para absorber el dióxido de carbono de la atmosfera y almacenarlo en su biomasa puede compensar cierta cantidad de las emisiones generadas de carbono (Ordoñez, 2008). Si bien, los bosques pueden ser sumideros o fuentes netas de carbono, esto depende de varios factores como: su edad, la sanidad, la vulnerabilidad a los incendios forestales y a otras

perturbaciones, así como del modo en que se gestionan (FAO). Por lo cual, apoyos como los brindados por la CONAFOR en el Estado de México representan acciones clave para reducir y mitigar las emisiones de GEI.

Algunos de los principales retos que se nos presentaron fue el de identificar el cambio en la cobertura vegetal y el uso del suelo, obtener las superficies anuales por tipo de cobertura vegetal y uso del suelo y la superficie transformada para tierras de uso agrícola; el consumo anual de leña; la superficie afectada anual por los incendios forestales; la producción forestal anual en m³r. Cabe señalar que el contenido de carbono en suelo, y los cambios en suelos para uso agrícola y el cambio de carbono a suelos minerales es una de las variables. Para esto se realizó el recálculo para los periodos 2005 y 2010, en las principales variables que se emplean para el software.

Conclusiones y recomendaciones.

- Los factores de riesgo para el sector forestal y de uso de suelo son numerosos. La expansión de la frontera agrícola, ganadera y urbana, así como la tala clandestina son algunos de los que tienen mayor impacto en la estructura del ecosistema. Por lo cual, es indispensable adoptar medidas de adaptación para este sector, pues el incremento de la biomasa forestal y la consecuente captura de carbono puede representar una opción viable para mitigar las concentraciones de CO₂ atmosférico.
- Debido a que, el Estado de México es la entidad federativa con mayor población a nivel nacional, se hace indispensable brindar especial atención a las zonas boscosas que rodean las zonas metropolitanas de los valles de México y Toluca, con la finalidad de garantizar la provisión de los servicios ambientales, los cuales son invaluable por su aporte económico y en sustentabilidad ecológica, ya que tan solo en el Estado de México se ha

identificado que la población que habita en zonas forestales es de 69,073 habitantes (INEGI, 2005).

- El potencial de adaptación y mitigación de este sector es adecuado, de acuerdo al Gobierno del Estado de México, el estado tiene un potencial para establecer cerca de 60 mil hectáreas de plantaciones forestales comerciales en clima templado, para la producción de madera (productos de aserrío y papel) y árboles de navidad principalmente, eso sin contar las existencias volumétricas de los bosques naturales.
- La recuperación de zonas forestales degradadas, ayuda no solo a retirar el carbono atmosférico, también permite recuperar la biodiversidad y los ecosistemas que se han perdido. Como ejemplo, en el año 2010, se han reforestado cerca de 28mil hectáreas.

Tabla 64. Superficie reforestada (ha) 2005-2010.

Estado de México	El ambiente en números SEMARNAT				PROBOSQUE	
	Año	2005	2006	2007	2008	2010
Superficie reforestada en Ha		15,412	10,017	4,493	10,883	28,051

- Es necesario realizar investigación respecto de las densidades de la madera de las especies vegetales que no se incluyen en el estudio y que están presentes en el estado.
- Es necesario establecer vínculos de comunicación con las instituciones generadoras de información, con el fin de tener disponible la información ya recabada.
- Se recomienda realizar investigación referente a los contenidos de carbono por especie vegetal.

- Se recomienda realizar investigación referente al cálculo de captura anual de carbono por especie vegetal.
- Este sector no incluye el contenido de carbono por tipo de suelo, ya que no se cuenta con dicha información, por lo cual se abren campos para la investigación en el estado, que provean datos locales sobre los contenidos de carbono por tipo de suelo.
- Mejorar las estimaciones sobre incrementos en biomasa, ya que estos datos de incremento volumétrico son una importante fuente de error en los cálculos de captura de carbono.
- Mejorar estimaciones de factores de expansión de biomasa, ya que es una de las principales fuentes de error es el uso de factores de expansión de biomasa “por defecto”.
- Es necesario que los factores de expansión se calculen por especie bajo diferentes condiciones ambientales.



Responsables:

M. en C. Luis Felipe Bautista Gorostieta

Biol. Erik Eliezer Velarde Meza

Revisores:

M. en C. Xóchitl Cruz Núñez

Dr. José Antonio Benjamín Ordóñez Díaz

Panorama General

El gran número de actividades productivas del Estado de México, así como la cercanía con la capital del país, han propiciado un rápido crecimiento de la población y por consiguiente todos los problemas que conlleva la expansión de la mancha urbana; siendo uno de ellos la generación de residuos sólidos y de aguas residuales (GEM, 2009).

En busca de la necesidad de la eliminación de dichos residuos se disponen sitios de disposición final, los cuales no siempre utilizan los métodos más adecuados para el tratamiento de los mismos. Al no operar de manera adecuada los sitios de disposición final se convierten en fuentes generadoras de contaminación que traen consigo problemas ambientales, tales como la contaminación del agua, del suelo y de la atmósfera, así como la emisión de gases de efecto invernadero (GEI), sin embargo, la generación de GEI es mayor en los sitios de disposición final controlados, ya que se favorece más el proceso anaeróbico, el cual produce metano. (GEM, 2009).

El hecho de contar con más de 15 millones de habitantes y sólo poseer 1.1 % del territorio nacional, hace al Estado de México el más poblado del país y el segundo con la mayor densidad poblacional después del Distrito Federal, donde el 94.4% de las viviendas particulares cuenta con agua entubada y el 94.2% con drenaje (INEGI, 2010).

Actualmente, gran parte de los municipios rurales limitan el manejo de sus residuos sólidos a los elementos básicos: generación, recolección y disposición final; en algunos casos se realiza adicionalmente el barrido manual en calles de la cabecera municipal (GEM, 2009).

En los municipios urbanos y metropolitanos la meta es reincorporar subproductos al ciclo económico (reciclaje, compostaje), aquí los sistemas requieren procesos adicionales en el manejo de los residuos sólidos. Hay una gran variedad de formas de tratamiento adicional con diferentes finalidades que hacen el manejo de los

residuos más complicado; sin embargo, generalmente presentan una reducción de los impactos negativos al ambiente (GEM, 2009).

El tratamiento biológico de los residuos es una consecuencia natural de su composición, cercana al 50% de material biodegradable, consiste en la degradación controlada por medio de organismos. Al tratamiento biológico también se le conoce como biogasificación, por que durante los procesos gran parte de los sólidos procesados se convierten en gas. Los principales tratamientos biológicos son el compostaje, el mecánico-biológico y la metanización (GEM, 2009).

El presente reporte presenta los cálculos de las emisiones de metano (CH₄), óxido de nitrógeno (NO₂) y dióxido de carbono (CO₂) provenientes de los desechos sólidos urbanos, así como de los volúmenes de aguas y lodos residuales domésticas e industriales y de la incineración de desechos del Estado de México para el 2010 (Tabla 65).

Tabla 65. Emisiones de GEI, actividades de los subsectores e información requerida para el sector desechos.

Subsector	Información	GEI generado	CO ₂ equivalente (por unidad)*
Residuos Sólidos Urbanos	Generación y disposición	CH ₄	21
Aguas residuales domésticas/comerciales	Plantas de tratamiento y cantidad tratada	CH ₄	21
Lodos residuales domésticos/comerciales	Tipo de tratamiento y cantidad tratada	CH ₄	21
Aguas residuales industriales	Plantas de tratamiento y cantidad tratada	CH ₄	21
Lodos residuales industriales	Tipo de tratamiento y cantidad tratada	CH ₄	21
Excreta humana	Consumo per cápita de proteína	N ₂ O	310
Incineración de residuos	Cantidad incinerada por sector	CO ₂	1

*Potenciales de Calentamiento del Segundo Informe de Evaluación del IPCC.

El beneficio resultante de este ejercicio, principalmente es el de conocer la contribución de Gases de Efecto Invernadero (GEI) generadas por este sector, con el objetivo de identificar los procesos con gran magnitud de emisiones y así poder implementar medidas de mitigación y adaptación al cambio climático en el Estado de México.

Metodología

La metodología aplicada fue la recomendada por el Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC) directrices de 1996 y Guías de las Buenas Prácticas 2000. Se llevó a cabo el llenado del formato de registro del módulo 6 del IPCC, ligado al archivo Overview. Los factores de emisión ocupados para el llenado de las hojas de cálculo de éste sector fueron los sugeridos por el IPCC 1996, así como los estimados para México en la Actualización del Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero 1990-2006 en la categoría de Desechos.

De acuerdo con la información disponible, se elaboraron los árboles de decisión de los sector desechos : Árbol de decisión para estimar las emisiones de metano procedentes de aguas residuales (Figura 60), Árbol de decisión para estimar las emisiones potenciales de metano por el tratamiento de residuos sólidos (Figura 61), Árbol de decisión para estimar las emisiones de metano procedente de descargas de aguas industriales y domesticas (Figura 62), Árbol de decisión para calcular las emisiones de metano procedentes de industrias (Figura 63) y Árbol de decisión para estimar el CO₂ proveniente de la incineración de residuos (Figura 64).

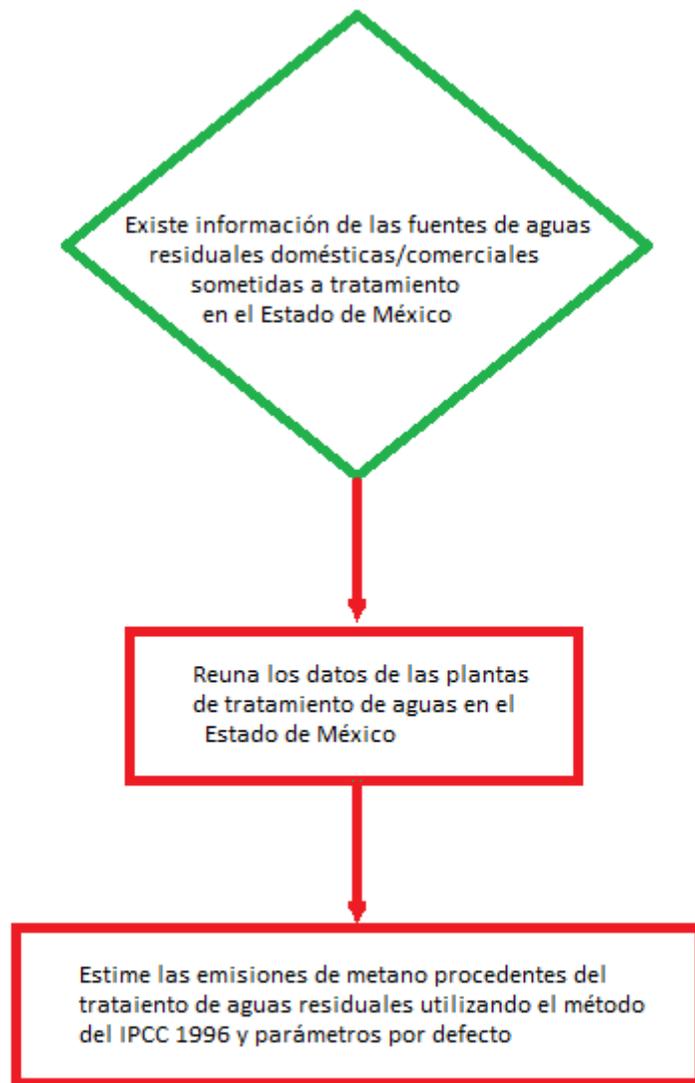


Figura 60. Árbol de decisión para estimar las emisiones de CH₄ procedente de aguas residuales.

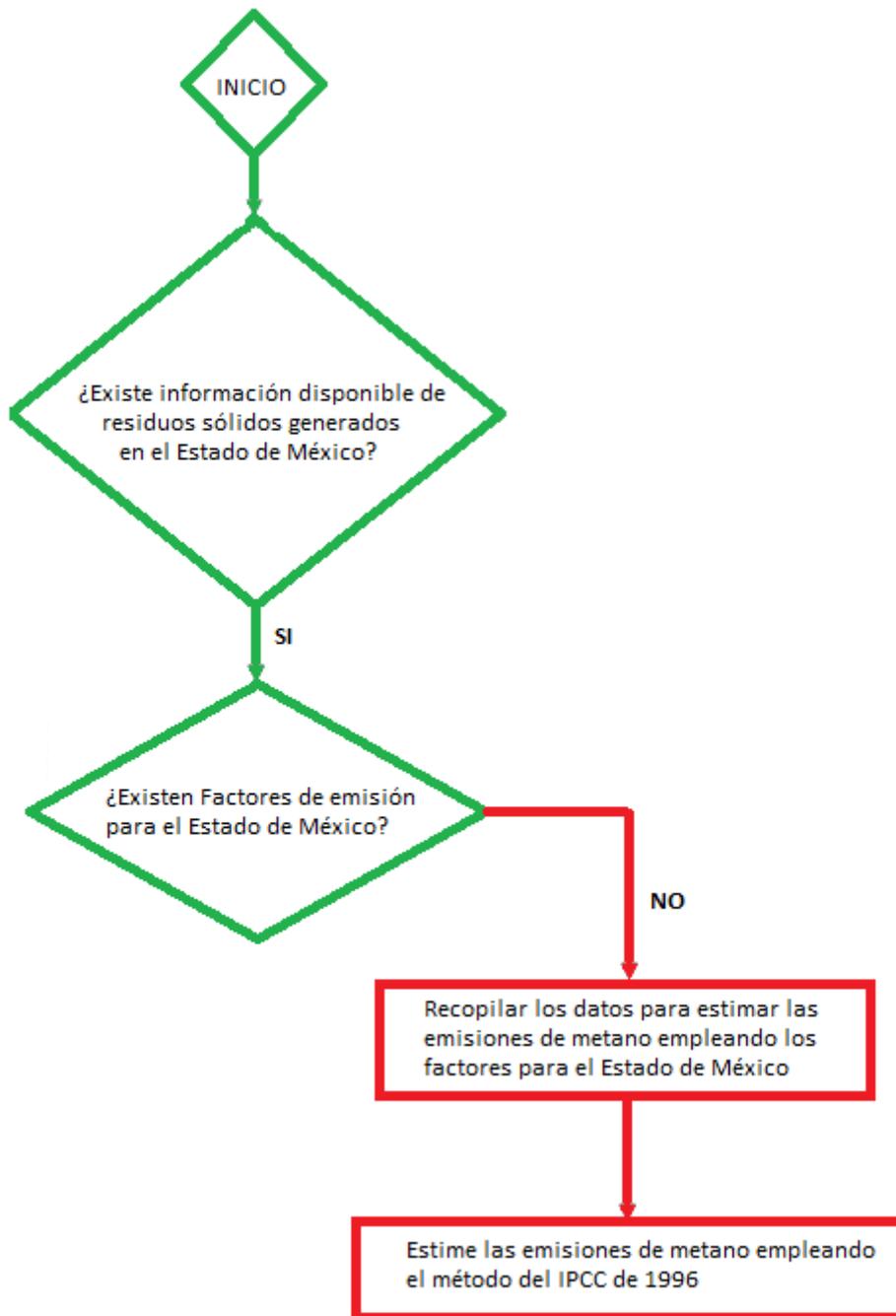


Figura 61. Emisiones potenciales de CH₄ por el tratamiento de residuos sólidos.

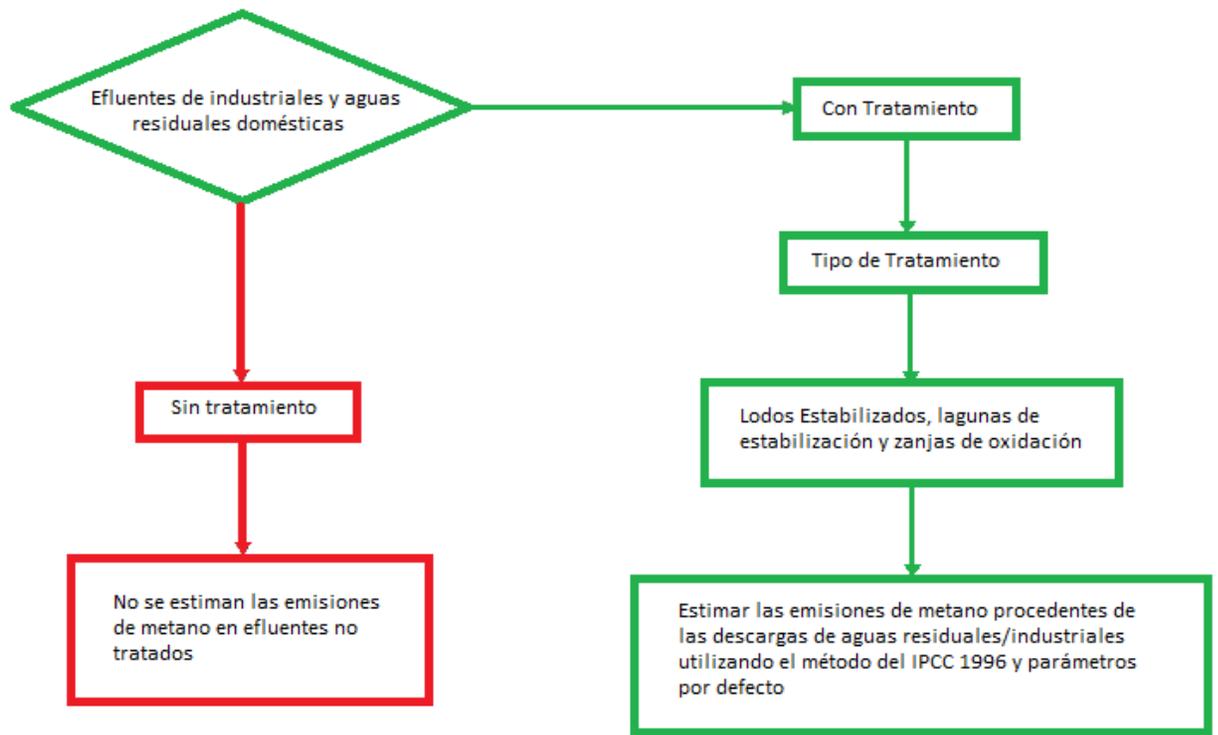


Figura 62. Emisiones de CH₄ procedentes de descargas de aguas industriales y domésticas.

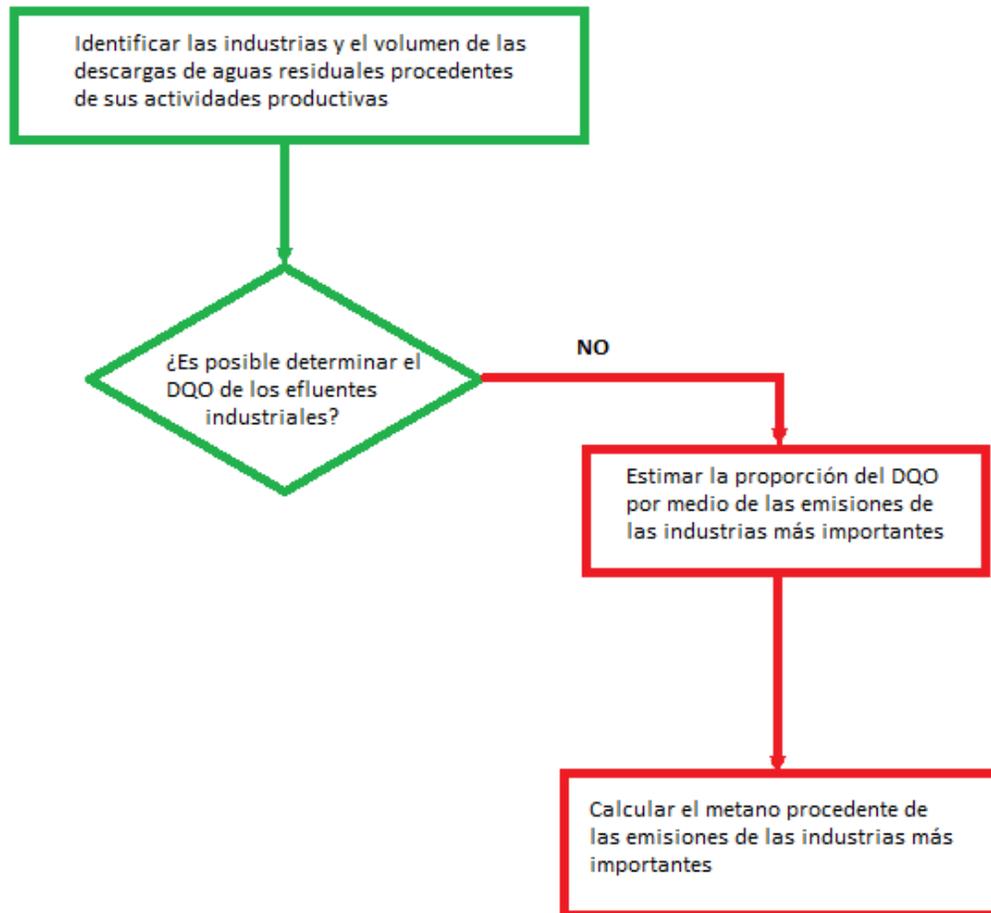


Figura 63. Árbol de decisión para calcular el CH₄ procedente de las emisiones industriales.

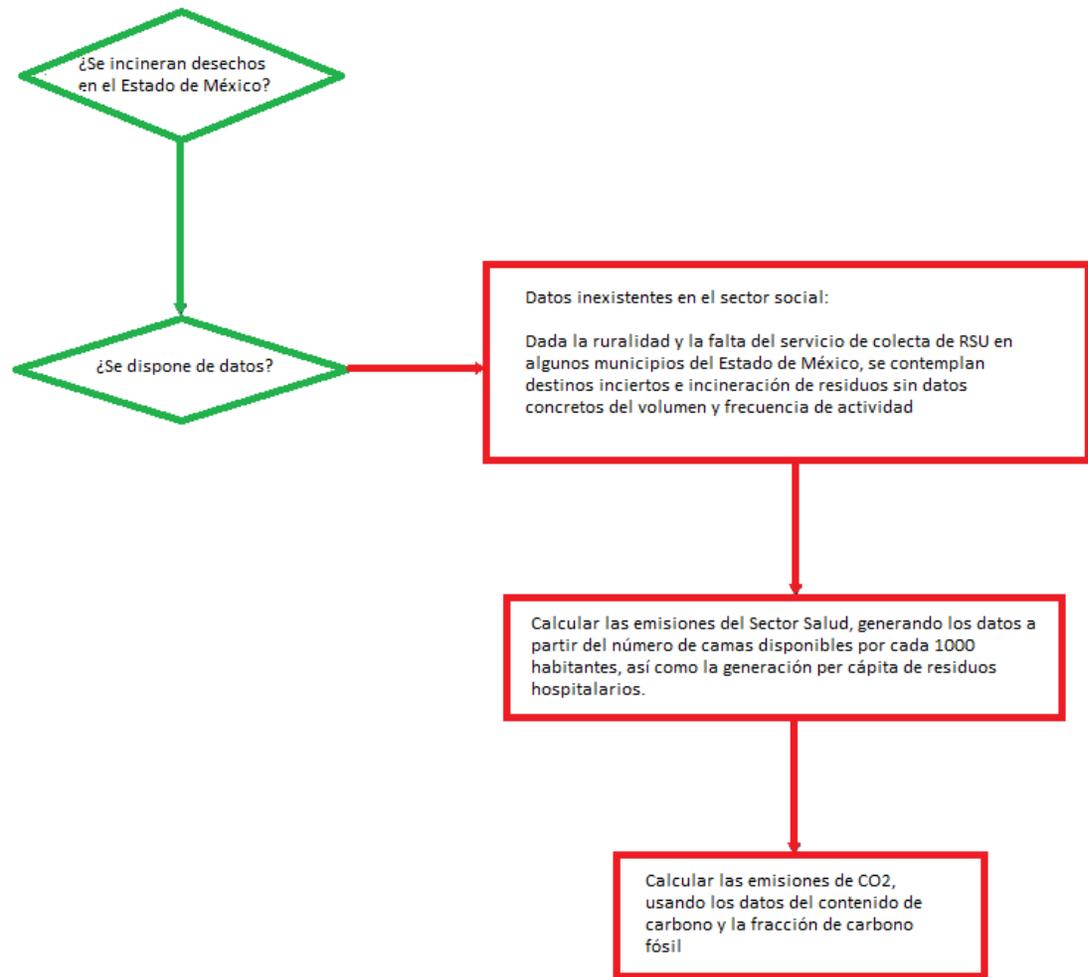


Figura 64. Árbol de decisión para estimar el CO₂ proveniente de la incineración de residuos.

Los gases de efecto invernadero generados por el manejo, disposición, tratamiento e incineración de residuos son: CO₂, CH₄ y N₂O. El metano (CH₄) es un gas de efecto invernadero que posee la capacidad de atrapar 21 veces más calor que el dióxido de carbono (CO₂), el cual se genera por una amplia variedad de procesos naturales y antropogénicos, incluyendo la descomposición de desechos, quema de residuos y tratamiento de aguas y lodos residuales, entre otras.

El óxido nitroso (N₂O) se deriva de la excreta humana, este gas es responsable de absorber la radiación infrarroja de la atmósfera y contribuye con un potencial de calentamiento equivalente a 310 veces mayor que el del CO₂.

Las emisiones generadas se reportan en unidades de dióxido de carbono equivalente (CO₂ eq), esto con la finalidad de hacer comparables las emisiones, empleando el potencial de calentamiento de cada uno de los gases de efecto invernadero.

Datos de Actividad

En el caso de las estimaciones de metano procedentes del tratamiento de aguas residuales industriales, se sigue la misma metodología que en el caso de las aguas residuales domésticas, solo se tiene que obtener el total de efluentes de las principales empresas que tienen una planta de tratamiento de aguas en el estado.

Para cuantificar las emisiones de metano procedentes del tratamiento de lodos en el sector Doméstico/Comercial, así como del sector Industrial, se ocuparon las mismas fracciones que en el caso de las aguas residuales, esto para cada sector, basados en el manual de las buenas prácticas del IPCC(IPCC, 2003); lo cual se debe a la carencia de información por parte de las dependencias de gobierno.

Los lodos se dividieron por tipo de tratamiento (que existen en México) como lo requiere el software del IPCC (IPCC, 1997), cabe señalar que el factor de conversión de metano al cuál se recurre pertenece a la Actualización del Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero 1990-2006 en la categoría de Desechos.

Para el cálculo del óxido nitroso procedente del excremento humano se utilizaron datos nacionales del consumo per-cápita de proteína por persona al día y se multiplicó por un año.

Para el cálculo de incineración de residuos se utilizaron los datos procedentes del Observatorio del Desempeño Hospitalario del 2011, de donde se obtuvo el número total de camas censables por cada 1000 habitantes del sector Salud (Instituciones del sector público y servicios de estatales de salud), apoyado por el número de habitantes en el 2010 en el Estado de México, que era de 15´175,862 (INEGI, 2010). Además, se utilizó el promedio de generación per cápita de residuos de éste sector, el cuál es de un promedio de 1.5 kg por cama por día (SEMARNAT, 2005); y finalmente, se realiza la estimación de generación total anual de residuos de éste sector.

Fuentes de Información

Para la cuantificación de residuos sólidos urbanos se recurrió a la información proporcionada por el INEGI, en el documento: Disposición de Residuos Sólidos Urbanos en sitios controlados y no controlados, así como de la Conferencia del Centro de Estudios Demográficos, Urbanos y Ambientales, dentro del Taller Cartera de proyectos ambientales prioritarios para la Zona Metropolitana del Valle de México, para la información de la disposición de residuos compartidos con el Distrito Federal.

Para estimar la carga orgánica total de las aguas residuales se empleó el dato de la población total del Estado de México en el 2010, la cuál era de 15,175,862 habitantes (INEGI, 2010), el componente orgánico degradable (se toma el valor default de las buenas prácticas del IPCC de 21,900), así como la fracción del componente orgánico degradable retirado.

Al multiplicar los valores mencionados, se obtiene el total de las aguas residuales orgánicas domésticas.

Los datos de la producción total de las distintas categorías industriales (en ton/año) se obtuvieron de la Cédula de Operación Anual (COA) del año 2008 (SEMARNAT, 2008) para las fuentes de jurisdicción federal y de la Cédula de Operación Integral (COI) pertenecientes los años 2004 y 2010 para las fuentes de

jurisdicción estatal. Se ocupó la fuente de información disponible más cercana a la fecha del presente.

Para el tratamiento de aguas residuales del sector Industrial se usaron los factores de emisión y las correcciones nacionales, provenientes de la Actualización del Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero 1990-2006 en la categoría de Desechos.

Los datos necesarios para cuantificar las emisiones de los lodos residuales procedentes del sector industrial no estaban disponibles o no existía la información, por lo que se determinó el uso del mismo volumen de aguas residuales para cuantificar los lodos, aplicando los factores de corrección y de emisión correspondientes a los lodos de éste sector y determinados para México, provenientes de la Actualización del Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero 1990-2006 en la categoría de Desechos (Arvisu, 2008).

Para el cálculo del año base se utilizaron los datos de la producción total de las industrias, los cuáles se obtuvieron del Registro de emisiones y transferencias de contaminantes (RECT, 2005), aunque los datos de empaquetado de alimentos de la misma base fueron obtenidos en el 2004. De igual forma, los factores de corrección y conversión fueron tomados de la Actualización del Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero 1990-2006 en la categoría de Desechos (Arvisu, 2008).

El dato de óxido nitroso procedente del excremento humano se obtuvo de la FAO (FAO 1986, 1995 y 2005) y se realizó una extrapolación matemática para obtener el dato del 2010 de consumo de proteína en unidades Kg/persona/año.

Una vez obtenido el dato de consumo medio de proteína per cápita del 2010, se multiplica por el número de habitantes del Estado de México en el 2010 obtenido del INEGI (INEGI, 2010). El valor por defecto de la fracción de nitrógeno es el sugerido por el IPCC de 0.16 N/Kg de proteína (IPCC, 1997) .

Para el cálculo de las emisiones del año base 2005, se realizó el mismo procedimiento, tomando el dato de consumo de proteína per cápita para México en el 2005 de la FAO (FAO, 2005), así como el número de habitantes del Estado de México en el 2005 (INEGI, 2010). El valor por defecto de la fracción de nitrógeno es el sugerido por el IPCC de 0.16 N/Kg de proteína.

La falta de información de en cuanto a la incineración de residuos, dificulta cuantificar las emisiones, se ha reportado que es una actividad relativamente reciente, por lo que aún no se genera una completa base de datos para calcular un volumen total en todo el estado. Las incineraciones de residuos se llevan a cabo principalmente en las zonas con mayor ruralidad del estado, donde se acostumbra incinerar residuos agrícolas y sólidos comunes. A la fecha no existe un censo que levante ésta información para determinar cantidades y frecuencia de ésta actividad.

Debido a lo anterior, se estima sólo el sector salud del Estado de México, usando los factores de conversión por defecto del IPCC, aunque no se sabe el tipo de residuos incinerados; además, no se estima el año base 2005 debido la falta de información.

Factores de emisión

El factor de emisión de cada tipo de desechos es una función del potencial máximo de producción de metano de cada tipo de desechos y del promedio ponderado de los factores de conversión del metano (FCM) de los distintos sistemas de tratamiento de aguas residuales utilizados en el país.

Para calcular el factor de corrección para el metano (FCM) se necesita conocer la proporción de los residuos sólidos urbanos (RSU) eliminados en cada tipo de vertedero (controlado, no controlado con profundidad mayor o igual a 5 metros y no controlado con profundidad menor a 5 metros) como lo requiere el Software del

IPCC 1996 (Tabla 66). En éste caso se conoce la fracción de RSU vertidos en sitios controlados y no controlados (para el 2010), los cuales son 0.56 y 0.44; sin embargo se desconocen los datos de *la profundidad de los vertederos no controlados, por lo que se utilizó en promedio ponderado para realizar el cálculo del FCM y no sobre-estimar o sub-estimar las emisiones*, es decir se utilizó la mitad de la fracción de 0.44 de vertederos no controlados (0.22) para vertederos con profundidad mayor o igual a 5 metros y la otra mitad de la fracción de 0.44 (0.22 también) para los vertederos con profundidad menor a 5 metros.

Los valores usados de la fracción de metano que se degrada son los proporcionados por defecto del IPCC (IPCC, 1997).

Tabla 66. Clasificación de los vertederos de residuos sólidos y factores de corrección para el metano.

Tipos de vertederos	Valores por defecto del factor de corrección para el metano (FCM)
Controlados	1
No controlados – profundos (>5 m de desechos)	0,8
No controlados – poco profundos (<5 m de desechos)	0,4
VRS no incluidos en ninguna categoría	0,6

Fuente: Directrices del IPCC, versión 1996

Los factores de emisión utilizados es este sector fueron los siguientes:

Tabla 67. Factores de emisión utilizados en el sector Desechos.

Factor de Emisión	Valor
Aguas residuales domésticas (KgCH ₄ /Kg DBO)	0.08
Lodos residuales domésticas (KgCH ₄ /Kg DBO)	0.3
Aguas residuales industriales (KgCH ₄ /Kg DQO)	0.06
Lodos residuales industriales (KgCH ₄ /Kg DQO)	0.08
EF ₆ (KgN ₂ O-N/Kg de N en excreta humana)	0.01
Incineración (GgCO ₂ /Gg residuo incinerado)	1.64

Fuente: Directrices del IPCC, versión 1996 para el EF₆,(valor default) los demás fueron calculados por el método de las Directrices del IPCC, versión 1996, finalmente el factor de incineración, fue calculado de los datos procedentes del Observatorio del Desempeño Hospitalario del 2011.

Resultados

Emisiones de metano procedentes de la disposición final de residuos sólidos urbanos.

En el año 2010, se contabilizó un total de 6,484 Gg de desechos sólidos urbanos procedentes sólo del servicio de colecta del Estado de México; los cuáles generaron 376.65 Gg de metano, equivalente a 7,909.65 Gg de CO₂ emitido al ambiente por su disposición. Cabe mencionar que una parte de los desechos sólidos urbanos generados en Distrito Federal son destinados para su disposición final en basureros del Estado de México, de modo que se han contabilizado un total de 1,642.5 Gg de desechos sólidos provenientes de la capital del país, los cuáles liberan un total de 95.41 Gg de metano y que corresponden a 2,003.61 Gg de CO₂ equivalente, dando un total de 472.06 Gg de metano ó 9,913.26 Gg de Carbono equivalente.

Se realizó una estimación de las emisiones de éste sector, del año 2010 comparado con el año base para éste inventario 2005. En el 2005 se contabilizó un total de 5902 Gg de desechos sólidos generados, los cuáles emitieron un total de 356.29 Gg de metano por su disposición, equivalentes a 7482.09 Gg de CO₂, aumentando así las emisiones en un 24.52% tomando en cuenta las emisiones de los desechos procedentes de la capital del país (Figura 65).

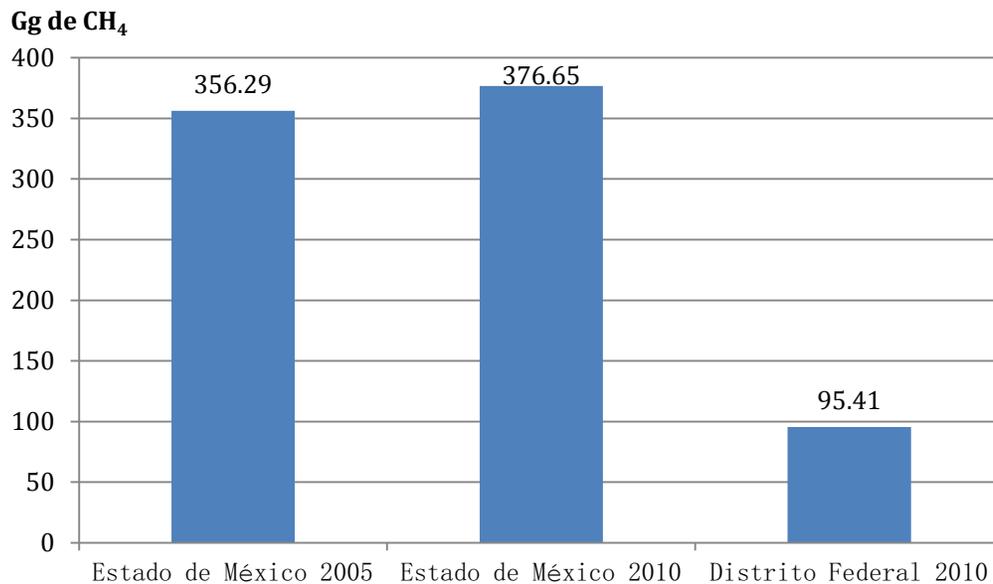


Figura 65. Comparación entre las emisiones de metano generados por la disposición de residuos sólidos urbanos en el Estado de México, 2005 y 2010.

Cálculo del Carbono Orgánico Degradable (COD)

En la siguiente ecuación, presentada en la directrices del IPCC 1996, el COD se estima mediante el uso de los valores por defecto del contenido del carbono:

$$\text{COD} = (0.4 \times A) + (0.17 \times B) + (0.15 \times C) + (0.3 \times D)$$

Donde:

A = Fracción de los RSU compuesta de papel y textiles

B = Fracción de los RSU compuesta por desechos de jardín, desechos de parques u otros orgánicos putrescibles, excluidos los alimentos.

C = Fracción de los RSU compuesta de restos de alimentos

D = Fracción de los RSU compuesta de madera o paja

Sustituyendo los valores de la fracción de los RSU para cada categoría en los años 2005 y 2010 se tiene:

$$\text{COD}_{2005} = (0.4 \times 0.164) + (0.17 \times 0.0765) + (0.15 \times 0.42) + (0.3 \times 0.0089) = 0.143$$

$$\text{COD}_{2010} = (0.4 \times 0.194) + (0.17 \times 0.032) + (0.15 \times 0.377) + (0.3 \times 0.0124) = 0.142$$

La fuente de información de los datos de la fracción de RSU para las diferentes categorías, en los años 2005 y 2010 se obtuvieron de la SEMARNAT. SNIARN. Base de datos estadísticos, Módulo de consulta temática, Dimensión ambiental, www.semarnat.gob.mx

Emisiones de metano provenientes del tratamiento de aguas y lodos residuales Domésticas/Comerciales.

En el año 2010 se estima que el tratamiento de aguas y lodos residuales del sector doméstico/comercial aporta un total de 61.07 Gg de CH₄, los cuáles equivalen a 1282.47 Gg de CO₂.

Las aguas residuales emitieron un total de 12.77 Gg de metano por su tratamiento, equivalente a 268.17 Gg de CO₂, mientras que los lodos residuales aportaron 48.31 Gg de metano, equivalente a 1014.51 Gg de CO₂ (Figura 66).

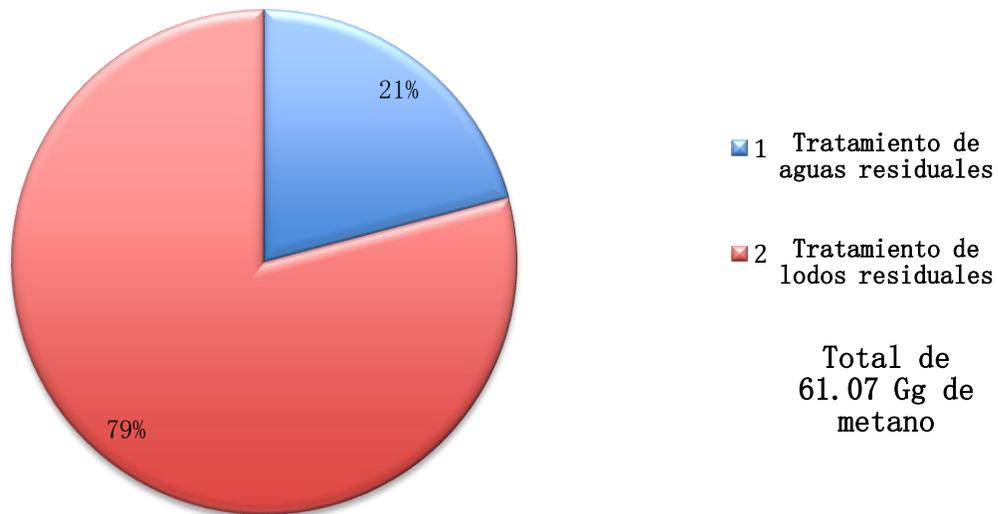


Figura 66. Porcentaje de emisiones por el tratamiento de lodos y aguas residuales procedentes del sector doméstico/comercial para el año 2010.

Emisiones de metano provenientes del tratamiento de aguas y lodos residuales Industriales.

El valor calculado durante el año 2010, para el tratamiento de aguas y lodos residuales procedentes del sector Industrial fue de 41.14 Gg de CH₄, equivalentes a 863.94 Gg de CO₂ emitidos al ambiente. La emisión procedente las aguas residuales es de 16.53 Gg de metano, equivalente a 347.13 Gg de CO₂; mientras que los lodos residuales ascienden a 24.61 Gg de metano, equivalente a 516.81 Gg de CO₂ (Figura 67).

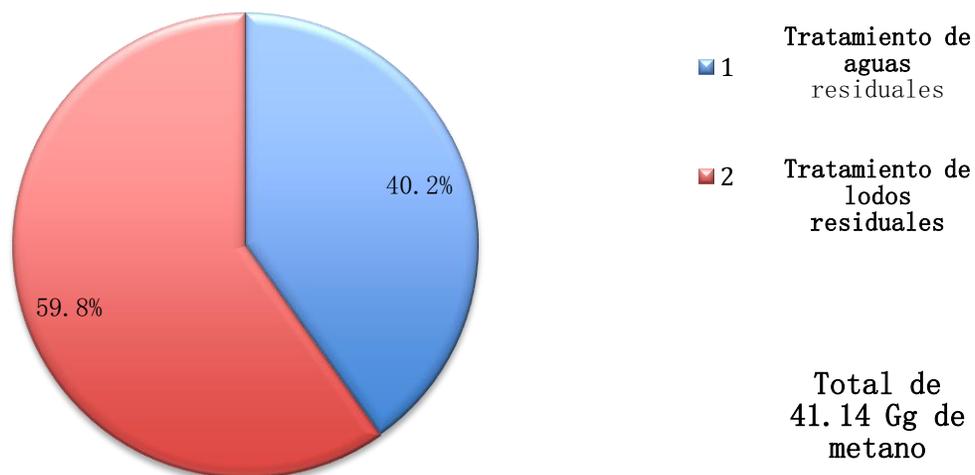


Figura 67. Porcentaje de emisiones por el tratamiento de lodos y aguas residuales procedentes del sector industrial para el año 2010.

La estimación del año base 2005 muestra una generación de 49.08 Gg de metano, procedentes tanto de las aguas como de los lodos residuales, correspondiendo 7.67 Gg de metano de las aguas residuales, equivalente a 161.07 Gg de CO₂; así como 41.41 Gg de metano proveniente de los lodos residuales, equivalente a 869.61 Gg de CO₂ (Figura 68).

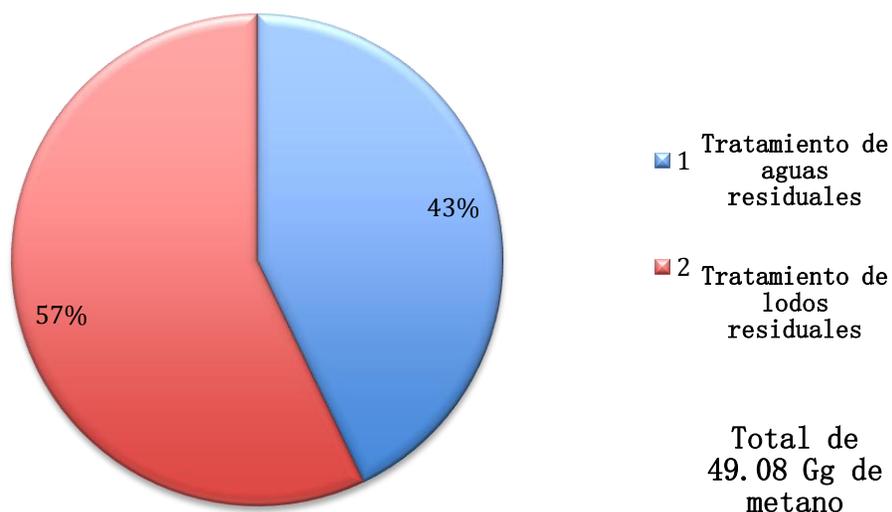


Figura 68. Porcentaje de emisiones por el tratamiento de lodos y aguas residuales procedentes del sector industrias para el año 2005.

Emisiones de óxido nitroso procedentes de la excreta humana.

El valor estimado para éste subsector en el 2010 es de 1.34 Gg de óxido nitroso procedente del excremento humano, equivalente a 415.4.5 Gg de CO₂.

Para el año base 2005 se registró un total de 1.19 Gg de óxido nitroso, equivalente a 368.9 Gg de CO₂. En comparación, del 2005 al 2010 aumentó 0.15 Gg de metano, esto corresponde al 12.6% de incremento con respecto al año base (Figura 69).

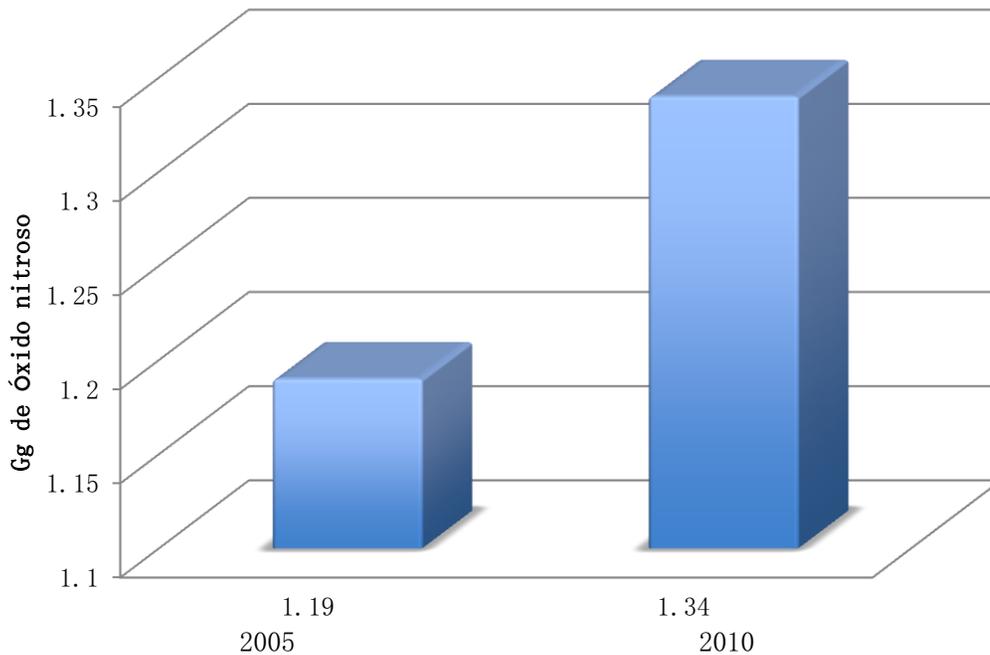


Figura 69. Óxido nítrico liberado en Gg, año 2005 y 2010.

Emisiones de CO₂ procedentes de la incineración de residuos.

Finalmente, se calcula un total de 12.26 Gg de CO₂ procedentes de la incineración de residuos peligrosos biológico infecciosos generados en el sector Salud, a partir de un cálculo estimado de 7.47 Gg de residuos generados anualmente.

Total de Emisiones del Sector Desechos.

El total de las emisiones calculadas para el Inventario del Estado de México para el año 2010 en el sector Desechos es de 12,487.33 Gg de CO₂ equivalente (Tabla 69), siendo la generación y disposición de residuos sólidos urbanos la principal fuente de emisiones, con poco más del 65% del total generado en el sector (Figura 70). Mientras que el total de las emisiones calculadas para el año 2005 son de 9,175.67 Gg de CO₂ equivalente donde de igual forma la generación y disposición de residuos sólidos urbanos es la principal fuente de emisiones.

Tabla 68. Emisiones totales de GEI por subsector años 2005 y 2010.

SECTOR	Emisiones totales (año 2005)	Emisiones totales (año 2010)
Residuos sólidos urbanos (Edo de Mex.)	356.29 Gg metano	376.65 Gg metano
Residuos sólidos urbanos (D.F.)	No aplican	95.41 Gg de metano
Tratamiento de aguas residuales domésticas	7.67 Gg de metano	12.77 Gg de metano
Tratamiento de lodos residuales domésticos	41.41 Gg de metano	48.31 Gg de metano
Tratamiento de aguas residuales industriales	5.60 Gg de metano	16.53 Gg de metano
Tratamiento de lodos residuales industriales	8.40 Gg de metano	24.61 Gg de metano
Excreta humana	1.19 Gg de óxido nitroso	1.34 Gg de óxido nitroso
Incineración de residuos (Sector Salud)	No calculado	12.26 Gg de dióxido de carbono

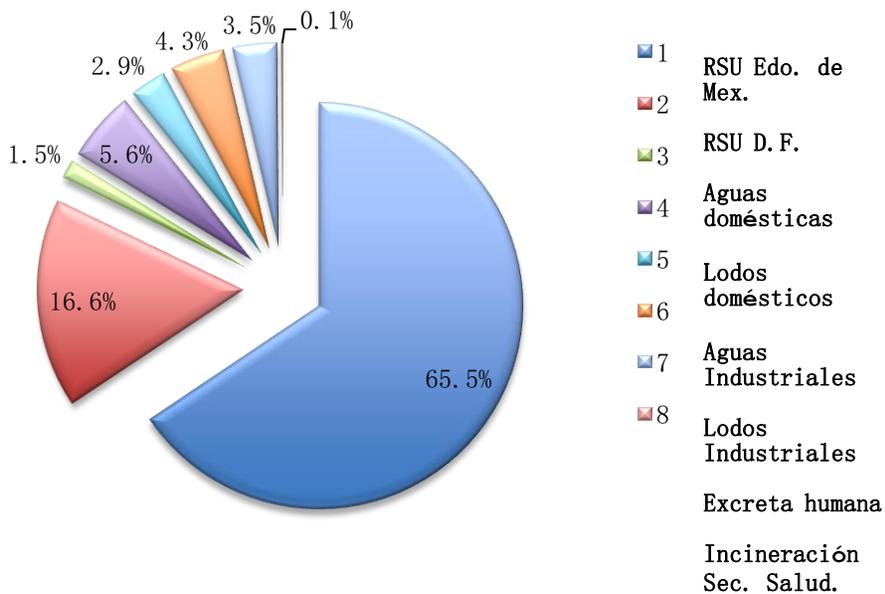


Figura 70. Porcentaje de emisiones por subsector del año 2010.

Según la Quinta Comunicación Nacional Ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (SEMARNAT-INECC, 2012), el total de emisiones del mismo subsector a nivel nacional ascendía a 44,146.88 Gg para el 2010, de los cuáles el Estado de México aportó 12,487.33 Gg, correspondientes al 28.29% del total del mismo periodo.

Tabla 69. Emisiones totales por subsector años 2005 y 2010 en Gg de CO₂ equivalente.

SECTOR	Emisiones en Gg de CO ₂ eq. (año 2005)	Emisiones en Gg de CO ₂ eq. (año 2010)
Residuos sólidos urbanos (Edo de Mex.)	7,482.09	7,909.65
Residuos sólidos urbanos (D.F.)	No aplican	2,003.61
Tratamiento de aguas residuales domésticas	161.07	268.17
Tratamiento de lodos residuales domésticos	869.61	1014.51
Tratamiento de aguas residuales industriales	117.6	347.13
Tratamiento de lodos residuales industriales	176.4	516.81
Excreta humana	368.9	415.4
Incineración de residuos (Sector Salud)	No calculado	12.26
Total	9,175.67 Gg	12,487.33 Gg

Discusión de Resultados

En el Estado de México, el sistema de recolección de residuos sólidos municipales posee dos vertientes: recolección formal e informal. En cuanto a la recolección informal, ésta es realizada por pepenadores, barrenderos, burreros, cartoneros, entre otros, así como por negocios de reciclaje de residuos industriales, quienes se encargan de buscar productos de reciclaje previo a su disposición final; de modo que se dificulta la cuantificación específica de los residuos. Dado que aún existen problemas con el servicio formal de colecta de basura, existe una tendencia a la incineración de los residuos generados de forma doméstica, esto principalmente en zonas con predominancia rural en el Estado de México; de modo que, a pesar de tener el conocimiento de la existencia de ésta práctica, no

existe información acerca de la cantidad aproximada o total de desechos incinerados, así como de la frecuencia con la que se lleva a cabo esta práctica, posiblemente por la dificultad de su evaluación.

La regulación del servicio de colecta a nivel estatal y municipal permitirá la disminución de las actividades de incineración y otras disposiciones no reguladas, la correcta separación de los residuos podrá beneficiar en la generación de biodigestores que aprovechen el gas natural producido por su descomposición para la generación de energía limpia, así como para el reciclaje de los residuos, convirtiéndolos en una fuente de recurso capital importante (a gran escala); sin embargo, a pesar de las posibles estrategias de mitigación que se pueden adoptar para reducir las emisiones de contaminantes de éste subsector, existen aún por afrontar aquellos intereses personales o de grupos comerciales cuyo negocio es el manejo, uso y/o reciclado de residuos y que pueden interferir con los planes de manejo de residuos.

La falta de generación de la información básica necesaria dificulta la cuantificación exacta de los gases generados para el tratamiento de lodos residuales, de modo que, los valores estimados son cercanos a los reales, ya que se ocupan los mismos valores de tratamiento de aguas residuales (tanto del sector Doméstico/Comercial como Industrial) y se emplean los factores de conversión y de emisión para México determinados por el Ing. José Luis Arvizu Fernández en la Actualización del Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero 1990-2006, en la categoría de Desechos.

La información obtenida ha sido facilitada en parte por los anuarios estadísticos de acceso al público e información publicada en internet; sin embargo, existe la necesidad de información específica para la cuantificación de emisiones de éste sector y que ha sido difícil de obtener por la escasa cooperación de otras dependencias gubernamentales o la carencia de la generación de dicha información.

Las aguas residuales de origen doméstico/comercial poseen un margen de error mucho menor en la cuantificación de las emisiones de metano que en el caso de las de origen Industrial. Se observó la falta de información específica en la cuantificación de las emisiones de las aguas residuales industriales, un ejemplo de ello es que no se contabilizaron las aguas residuales de las industrias productoras de plásticos, además de dejar afuera muchas del giro de producción de vidrio, acero, cartón, plásticos, etc., (aunque cabe señalar que las emisiones de metano provienen mayoritariamente de la industria alimentaria); sólo por el hecho de registrar su producción en unidades distintas a toneladas ó Kg.

La estimación para el año base puede estar muy reducida debido a que el sector industrial ha crecido en el lapso de 5 años, además de la obvia y frecuente carencia de información con la que se cuenta para éste inventario, sin tomar en cuenta que muchas de las empresas no expresan sus producciones en las unidades correctas.

Como efecto de la carencia de información, la evaluación de los gases procedentes de la incineración de residuos del sector Salud podría encontrarse sobreestimada al ocuparse el 100% de la generación de residuos para el cálculo de CO₂ emitido, ya que sólo una fracción de los residuos de éste sector se incineran y gran parte se dispone en almacenes, o bien, se trata por medios físicos, químicos e incluso biológicos para poder ser finalmente dispuestos como residuos sólidos no peligrosos (NOM-087-ECOL-SSA1-2002).

A pesar de lo anterior, podría beneficiar dicha sobreestimación a éste inventario, ya que no se consideran las incineraciones de lodos residuales o de residuos sólidos municipales (debido a la falta de información), prácticas que se realizan a escalas menores pero con mucha frecuencia y que no se registran a la fecha.

Tanto para el año base 2005 como el que corresponde al inventario, se puede apreciar que gran parte de la información no existe ó es de carácter restringido, de modo que la cuantificación a base de la estimación per cápita es una opción para no dejar de lado las emisiones de los subsectores; sin embargo, no es óptimo

realizarlas bajo la estimación per cápita dado que es posible que se llegue a la sobreestimación de las emisiones.

La principal problemática en general es la carencia de la información y la confidencialidad de la misma, grandes retos a superar para los siguientes inventarios en el Estado de México, y aún representa un reto mayor si se pretende migrar al Software 2006 del IPCC, el cual requiere una mayor cantidad y calidad de información específica para detectar las principales fuentes emisoras de GEI.

Conclusiones y Recomendaciones

- La disposición de residuos sólidos del Estado de México es la actividad que contribuye en mayor medida a las emisiones de GEI y aumenta con la disposición final de los residuos sólidos compartidos con el Distrito Federal, seguida por los sistemas de tratamiento de aguas y lodos.
- El total de emisiones nacionales del sector desechos para el 2010 fue de 44,146.88 Gg (SEMARNAT, 2012), de los cuáles el Estado de México aporta 12,059.98 Gg que corresponden al 28.29% del total generado a nivel nacional.
- El análisis de fuentes clave revelan que para el 2005 el tratamiento de aguas residuales es una de las principales fuente de emisiones, aportando casi el 20% de las emisiones estatales de todo el inventario; en comparación, para el 2010 se observa que es la disposición de residuos sólidos la actividad que más aporta en la emisión de gases con poco más del 21% de las emisiones totales de todo el inventario.
- El motivo por el cual se observa este cambio en la tendencia es debido a que para el 2005 los volúmenes producción de licores, lavado de café, la producción de empresas pasteleras, panaderas y de alimento para animales en su conjunto fue mucho mayor que durante el año 2010, así que las emisiones se elevaron drásticamente en este subsector para el 2005;

sin embargo, esto cambia para el 2010, debido a que se tiene registrado una disminución considerable de sus producciones.

- Como consecuencia del aumento de las emisiones por disposición final de residuos sólidos, se elevó éste subsector al primer lugar en el cálculo de las fuentes clave con poco más del 21% de las emisiones totales, lo que indica que éste subsector es uno de los principales en los que debe aplicarse medidas de mitigación y adaptación para la reducción de sus emisiones. Lo anterior se explica a partir de que una fracción de los desechos generados en el D.F. son destinados para su disposición final en el Estado de México y ambas entidades concentran una población estacional y flotante considerablemente alta, por lo que las actividades humanas que se llevan a cabo diariamente, principalmente en la Zona Metropolitana, generan una gran cantidad de desechos de todo tipo. Por lo anterior es necesario emprender acciones dirigidas a la protección del ambiente, realizando actividades como la separación, reutilización y reciclaje de residuos sólidos, tomando en cuenta la regulación del servicio de recolección de basura en todos los municipios del Estado de México
- Según el INEGI, el 94.2% de la población del Estado de México cuenta con el servicio de drenaje, el resto cuenta con otro sistema de disposición final de los residuos como lo son conexiones a pozos, grietas o resumideros, lo que implica un problema de contaminación al subsuelo, así como de rezago social. Se observa la necesidad de implementar el uso de baños secos como alternativa para mitigar el impacto al ambiente por fugas de descargas de aguas residuales, mientras que los lodos residuales resultantes podrían servir como abono después de su estabilización.
- Una de las actividades de las cuáles se sabe poco por los datos obtenidos para el presente inventario, es el tratamiento de lodos residuales, tanto de los provenientes de actividades domésticas y comerciales como de las

actividades productivas industriales. Por lo anterior, se recomienda llevar a cabo la debida neutralización de los lodos residuales, así como su estabilización y debida disposición final. No se recomienda llevar a cabo la incineración de los mismos debido a que ésta actividad contamina el aire y, dadas las características de los lodos residuales provenientes de la actividad industrial, afectarían la salud de la población.

- La incineración de residuos sólidos urbanos es una actividad poco evaluada, ya que no existen datos, y en medida que se mejore el servicio de colecta de basura, disminuirán las emisiones por ésta actividad. Al no haber una estimación de emisiones de éstas subsector para el año base, no se toma en cuenta para las estimaciones de incertidumbre, ya que se requiere de por lo menos dos datos de entrada para el cálculo.

- Se observa la necesidad de realizar un levantamiento de datos para estimar el volumen de residuos que se incineran al día por hogar, principalmente en las zonas con mayor ruralidad del Estado; a la par, se considera censar el porcentaje de residuos incinerados del sector salud, así como del sector industrial, ya que las principales fuentes contaminantes del subsector industrial, corresponden a las empresas dedicadas a la producción de cemento, metales, plásticos y demás, las cuáles no se tomaron en cuenta para el inventario debido a que la información no se encuentra expresada en unidades correctas para determinar sus emisiones.

Referencias

- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC). 2012. Quinta Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Primera edición. México.
- Instituto Nacional de Energía y Cambio Climático (iNECC) y el Instituto de Ingeniería de la UNAM. Octubre, 2008. Inventario Nacional de Gases Efecto Invernadero, Informe final, Parte 1: Sector energía. México.
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC). 2008. Guía para la elaboración de programas estatales de acción ante el cambio climático (PEACC). Tercera versión corregida y aumentada. INECC en colaboración con la Universidad Veracruzana y el Centro de Ciencias de la Atmósfera de la UNAM.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2011. Anuario Estadístico de México. Temporalidad 2010.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2006. Anuario Estadístico de México. Temporalidad 2005.
- Grupo intergubernamental sobre expertos del Cambio Climático. Orientación del IPCC sobre las buenas prácticas y la gestión de la incertidumbre en los inventarios nacionales de gases efecto invernadero.
- Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (PICC por sus siglas en inglés). Directrices del IPCC para Inventarios Nacionales de Gases Efecto Invernadero. Versión revisada 1996. Volumen 2: Libro de Trabajo.
- Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (PICC por sus siglas en inglés). Directrices del IPCC para Inventarios Nacionales de Gases Efecto Invernadero. Versión revisada 1996. Volumen 3: Manual de Referencia.
- Secretaría de Comunicaciones y Transporte (SCT). 2011. Dirección General de Transporte Ferroviario y Multimodal. Anuario Estadístico Ferroviario.
- Secretaría de Comunicaciones y Transporte (SCT). 2005. Dirección General de Transporte Ferroviario y Multimodal. Anuario Estadístico Ferroviario.

- Secretaría de Energía (SENER). 2012. Balance Nacional de Energía, 2011. México.
- Secretaría de Energía (SENER). 2006. Balance Nacional de Energía, 2005. Primera edición. México.
- Secretaría de Energía (SENER). 2011. Indicadores de Eficiencia Energética en México: 5 sectores, 5 retos. SENER en colaboración con la Agencia Internacional de Energía (AIE).
- Secretaría de energía (SENER). 2010. Prospectiva del mercado del gas Licuado de Petróleo 2010-2025. México.
- Secretaría de Energía (SENER). 2006. Prospectiva del mercado del gas Licuado de Petróleo 2005-2014. Primera edición. México.
- Secretaría de Energía (SENER). 2010. Prospectiva del mercado del gas natural 2010-2025. México.
- Secretaría de Energía (SENER). 2006. Prospectiva del mercado del gas natural 2005-2014. Primera edición. México.
- Secretaría de Energía (SENER). 2010. Prospectiva del mercado de petrolíferos 2010-2025. México.
- Secretaría de Energía (SENER). 2006. Prospectiva del mercado de petrolíferos 2005-2014. Primera edición. México.
- Secretaría de Energía (SENER). 2010. Prospectiva del sector eléctrico 2010-2025. México.
- Secretaría de Energía (SENER). 2006. Prospectiva del sector eléctrico 2005-2014. Primera edición. México.
- SEMARNAT. 2012. Inventario Nacional de Emisiones México 2005.
- Vera Juan Carlos. CMNUCC Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático y su Protocolo de Kioto. 2011. [En línea] [Consultado el 7 de mayo de 2013] Disponible en: <http://www.semarnat.gob.mx/temas/internacional/Paginas/CMNUCC.aspx>
- De la Madrid, C.E., Sin/Año. La Situación de la Industria de la Celulosa y el Papel en el Mundo. Financiera Rural. En: www.financierarural.gob.mx

- FOEI (Amigos de la Tierra Internacional).2011.Holcim en América Latina: estudios de caso. Ministerio Holandés de Asuntos Exteriores Fundación ISVARA.
- FUMEC (Fundación México-Estados Unidos para la Ciencia) y COMECYT (Consejo Mexiquense de Ciencia y Tecnología). 2011. Estudio de Tendencias y Oportunidades para el Sector de Alimentos Procesados del Estado De México. México, Edo .Mex.
- Gaceta de Gobierno del Estado de México.2012.Plan de Desarrollo del Estado de México2011-2017.Toluca de Lerdo, Méx. Tomo CXCIII, No. 48.
- H. Ayuntamiento del municipio de Apaxco. 2009. Plan de desarrollo municipal de Apaxco, 2009-2012. México, Edo. Mex.
- Instituto Nacional de Ecología. 2006. Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero 2006, Informe Final Parte 2 Procesos Industriales. Instituto de Ingeniería, UNAM.
- IPCC. 1996. Revised IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories. IPCC National Greenhouse Gas Inventories Programme. Published for the IPCC by the UK Meteorological Office.
- SE (Secretaria de Economía). 2012. Monografía del sector Siderúrgico de México, 2011. Dirección General de las industrias pesadas y de alta tecnología. Dirección de Industria metalmecánica. México, D.F.
- SE (Secretaria de Economía).2011. Panorama minero del Estado de México. Servicio Geológico Mexicano. Coordinación General de Minería.
- Secretaria de Media Ambiente del Estado de México (SMAGEM).2010. Cédulas de Operación Integral (COI´s) del Estado de México.
- Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2008. Cédulas de Operación Anual (COA´s) del Estado de México.
- SEGOB (Secretaría de Gobernación).2011
- SENER (Secretaria de Energía). 2007. Petroquímica. México, D.F.
- KPMG en México. 2011. El CO2 y los Gases de Efecto Invernadero: Reto de México y de sus empresas. KPMG International Cooperative. México.

- Estevez, M.N., Vega, M. M., Albiz S. P. 2000. Depuración de emisiones atmosféricas industriales. Universidad del país Vasco. España, Guizkoa.
- Gobierno del Estado de México.2011.Plan de desarrollo 2011- 1017.México Edo. méx.
- Foro Consultivo Científico Y Tecnológico (FCCyT).2012.Estado de México: Diagnostico en Ciencia y Tecnología e Innovación 2004-2011.México, D.F;
- Secretaría del Medio Ambiente, Gobierno de Estado de México (SMAGEM).2007.Diagnostico de la Industria en el Estado de México. México, Tlanepantla de Baz, Edo Méx.
- Secretaria del Medio Ambiente del Estado de México (SMAGEM).2007.Diagnostico Ambiental de la Industria del Estado de México. Tlanepantla de Baz, Estado de México.
- Dirección general de Comunicación Social (DGCS). 2011. En Recuperación, la Industria de la Construcción Boletín UNAM-DGCS-399. Ciudad Universitaria. Consultado el 24 de Junio del 2013 en <http://www.periodismoenaccion.com/index.php/home/economia-y-finanzas/indicadores/287-en-recuperacion-la-industria-de-la-construccion-en-mexico>.
- Pérez, G.2013. Holcim México, Nuevos cimientos y una industria en recuperación. Consultado el 24 de Junio del 2013 en <http://elsemanario.com/noticias/entrevistas/86114-holcim-mexico-nuevos-cimientos-y-una-industria-en-recuperacion.html>
- Fernández, E.2013. Edomex perdió 30% de suelo industrial en la última década.p1 consultado el 24 Junio del 2013 en <http://m.eluniversal.com.mx/notas/estado-de-mexico/36453.html>
- Bergstrom D.W., Tenuta M. y Beauchamp E.G. 2001. Nitroux oxide production and flux from soil under sod? following application of different nitrogen fertilizers. Commun. Soil. Sci.Plant. Anal.32, 553570.
- CONABIO, 2008. Comisión Nacional de Biodiversidad. Capital natural de México, vol. I. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México.

- Cultivo de arroz palay en México. http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=96&Itemid=68 consultada en 14 de Abril del 2013.
- FAO, 2004. Estimaciones globales de las emisiones gaseosas de NH₃, NO y N₂O provenientes de las tierras agrícolas. Primera edición. FAO & IFA. Roma, 2004.
- FAO, 2009. La larga sombra del ganado, problemas ambientales y opciones. Roma, Italia, 2009.
- FAO. 2007. Cambio climático y seguridad alimentaria: Un documento marco. Roma, Italia 2007.
- FAO. 2009. Estado actual de la agricultura y la alimentación. Roma, Italia
- INE. 2009. Cambio climático y recursos hídricos: desarrollo de una política de investigación y desarrollo tecnológico. Estudio realizado por el Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México.
- INE, 2009. Cambio climático y recursos hídricos: desarrollo de una política de investigación y desarrollo tecnológico. Estudio realizado por el Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México
- Presidencia de la Republica, 2012. Sexto Informe de Gobierno. Disponible en http://sexto.informe.calderon.presidencia.gob.mx/pdf/INFORME_ESCRITO/Sexto_Informe_de_Gobierno.pdf
- Presidencia de la Republica, 2012. Sexto Informe de Gobierno. Disponible en <http://sexto.informe.calderon.presidencia.gob.mx/inicio.html> última consulta el 5 de septiembre de 2012.
- [Presidencia.gob.mx/inicio.html](http://sexto.informe.calderon.presidencia.gob.mx/inicio.html) última consulta el 5 de septiembre de 2012.
- Sequias en México <http://www.proceso.com.mx/?p=297003>
- Sequias en México. <http://mexico.cnn.com/nacional/2012/01/30/la-sequia-lleva-a-la-poblacion-de-el-salto-en-durango-a-la-aridez-total> consultada el 4/abril/2013.
- Vera, J., Burgos, A., Aguilar, C., Camacho, J., Ortega, O. 2012. Emisiones de metano por rumiantes implicaciones para el calentamiento global. Ciencia y desarrollo.

- Gobierno del estado de México. 2013. Gaceta del Gobierno del Estado De México. Toluca de lerdo Méx, lunes 29 de Abril de 2013. No-80. <http://portal2.edomex.gob.mx/probosque/conservacionforestal/reforestacion/prorrim/index.htm>
- Semarnat. 2011. El ambiente en números. Selección de estadísticas ambientales para consulta rápida. México. 2011. Pp.17. Para consulta en línea: <http://www.semarnat.gob.mx/informacionambiental/Pages/numerosant.asp>
- Caballero, M. 2010. La verdadera cosecha maderable en México. Revista mexicana de ciencia forestal. 1 (1) : 5-16.
- Conabio. 2009. Capital natural de México. Síntesis, conocimiento actual, evaluación y perspectivas de sustentabilidad. México. 2009. Para consulta en línea: <http://www.biodiversidad.gob.mx/pais/capitalNatMex.html>
- Masera, O. Ghilardy, A. 2005. Fuel woods “ Hot spots” In México, a case study using wisdom– Woodfuel Integrated Supply-Demand Overview Mapping. FAO/UNAM. World energy program, Roma. 98.
- Armendáriz, C., Edwards, R., Johnson, M. 2010. Indoor particles distribution in homes whit open fires and improved Patsari cook stove. Atmospheric Environment. 44: 2881-2886.
- FAO. 2007. Los bosques y los incendios. Departamento forestal. Roma. Italia. <http://foris.fao.org/static/pdf/infonotes/infofaospanish-losbosquesylosincendios.pdf>
- Ordoñez, J. A. B. 2008. Como entender el manejo forestal, la captura de carbono y el pago de servicios ambientales. UNAM. Ciencias. Núm. 90: 37-42.
- Ordoñez, J. A. B. y Masera, O. 2001. Captura de carbono y cambio climático. Madera y bosques. 7 (1): 3-12.
- Brown, S., J, Sathaye., M, Cannell y P. Kauppi. 1996. Mitigation of carbon emission to the atmosphere by forest management. Commonwealth Forestry Review. 75 (1): 80-91.
- Semarnat. 2006. Anuario estadístico de la producción forestal 2005. Semarnat. Mexico.D.F. <http://www.cnf.gob.mx:8080/snif/portal/economica/anuarioestadisticos-de-la-produccion-forestal>

- Semarnat. 2011. Anuario estadístico de la producción forestal 2010. Semarnat. México. <http://www.cnf.gob.mx:8080/snif/portal/economica/anuarios-estadisticos-de-la-produccion-forestal>
- Semarnat. 2013. Reporte semanal de resultados de incendios forestales para los años 2005 y 2010. Consulta en línea: [http://www.cnf.gob.mx:8080/snif/portal/las-demas/reportes-de incendios-forestales](http://www.cnf.gob.mx:8080/snif/portal/las-demas/reportes-de-incendios-forestales)
- Ceballos, G; List, Rukis; Garduño, G. 2009. La diversidad biológica del estado de México. Estudio de estado. Gobierno del Estado de México.
- Mas, j; Velázquez, A y Couturier, S. 2009. La evaluación de los cambios de cobertura/ uso de suelo en la república mexicana. Investigación ambiental. 1 (1): 23-29.
- Lambin, E., Baulies, G., Bockstale, T., Fisher, R., Krug, E., Lemmans, R., Moran, Y., Rindfuss, D., Sato, B. 1999. Land use and land cover change implementation strategy. IGBP report, 48, IHDP, report, 10. Stocolmo.
- Unesco. 2013. Como entender la desertificación. Información consultada por internet el 4 de julio del 2013: <http://www.unesco.org/mab/doc/ekocd/spanish/chapter3.html>
- Arvizu Fernández José Luis. 2008. Actualización del Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero 1990-2006 en la categoría de Desechos. Instituto de Investigaciones Eléctricas, División de Energías Alternas. CONVENIO: INE/A1-035/2008. (INGEI/2006/DES/1).
- Conferencia del Centro de Estudios Demográficos, Urbanos y Ambientales, dentro del Taller Cartera de proyectos ambientales prioritarios para la ZMVM.
- Gobierno del estado de México (GEM). 2009. Programa para la prevención y gestión integral de residuos sólidos urbanos y de manejo especial del Estado de México. Gaceta del gobierno, tomo CLXXXVII A: 202/3/001/02, Número 69.
- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambios Climáticos (IPCC), Organización de Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE) y Agencia Internacional de la Energía (AIE). 1997. Directrices del IPCC para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero, versión revisada en

- 1996, Libro de Trabajo (Volumen 2). IPCC WGI Technical Support Unit Hadley Centre Meteorological Office. Reino Unido.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2003. Orientación del IPCC sobre las buenas prácticas y la gestión de la incertidumbre en los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero.
 - Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 1997. Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Reporting Instructions (Volume 1). IPCC WGI Technical Support Unit Hadley Centre Meteorological Office. United Kingdom.
 - Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 1997. Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Reference Manual (Volume 3). IPCC WGI Technical Support Unit Hadley Centre Meteorological Office. United Kingdom.
 - Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2010. Panorama sociodemográfico del Estado de México. Censo de población y vivienda 2010.
 - Observatorio del Desempeño Hospitalario. 2011. http://dgces.salud.gob.mx/ocasep/doctos/doc_06.pdf.
 - Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes (RETC). 2005.
 - SEMARNAT. 2008. Cédula de Operación Anual (COA) (Producción total anual del sector Industrial del Estado de México)..
 - SEMARNAT. 2008. Cédula de operación Integral (COI) (Producción total anual del sector industrial). Estado de México.
 - SEMARNAT-Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC). 2012. Quinta Comunicación Nacional Ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.
 - <http://www.conagua.gob.mx/ConsultaPublicaciones.aspx?id=Publicaciones|PUBLICACIONES|0|172|0|0|0>
 - http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe_04/introduccion/presentacion.html
 - http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe_04/08_residuos/cap8_2.html
 - <http://www.fao.org/docrep/field/003/AB461S/AB461S05.htm>
 - <http://www.fao.org/docrep/012/i0680s/i0680s.pdf>

- <http://www.fao.org/docrep/012/i0680s/i0680s.pdf>
- <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/default.aspx?e=15>
- <http://www.inegi.org.mx/sistemas/sisept/default.aspx?t=mamb129&s=est&c=21644>
- <http://www.inegi.org.mx/sistemas/sisept/default.aspx?t=mamb230&s=est&c=28932>
- <http://www.semarnat.gob.mx/temas/gestionambiental/Materiales%20y%20Actividades%20Riesgosas/residuos peligrosos/biologicos/biologicos.pdf>

Anexo 1

Análisis de Incertidumbre

Las estimaciones de la incertidumbre son un elemento esencial de un inventario de emisiones completo. La información sobre la incertidumbre no está orientada a cuestionar la validez de las estimaciones de inventarios, sino a ayudar a priorizar los esfuerzos por mejorar la exactitud de los inventarios en el futuro y orientar las decisiones sobre elección de la metodología.

De acuerdo a lo mencionado por el IPCC (1996) y basándonos en las recomendaciones del análisis del sector energético a nivel nacional para el año 2006, se procedió a realizar nuestros valores de incertidumbre para el actual inventario

Las incertidumbres de cada sector son las siguientes:

Sector Energía	3.19%
Sector Procesos Industriales	16.02%
Sector Agricultura	17.19%
Sector Uso de Suelo Cambio de Uso de Suelo y Silvicultura	22.04%
Sector Desechos	10.94%

Se anexan las hojas de cálculo de las incertidumbres de cada sector.

Sector Energía

Categoría de fuentes del IPCC	Gas	Emisiones año base (2005)	Emisiones año t (2010)	Incertidumbre en los datos de actividad	Incertidumbre en el factor de emisión	Incertidumbre combinada	Incertidumbre combinada como % del total de emisiones nacionales en el año t	Sensibilidad de tipo A	Sensibilidad de tipo B	Incertidumbre en la tendencia en las emisiones nacionales introducida por la incertidumbre en el factor de emisión	Incertidumbre en la tendencia en las emisiones nacionales introducida por la incertidumbre en los datos de actividad	Incertidumbre introducida en las emisiones nacionales totales	Indicador de calidad del factor de emisión	Indicador de calidad de los datos de actividad
		Datos de entrada	Datos de entrada	Datos de entrada	Datos de entrada	$\sqrt{F^2 + F^2}$	$\frac{G \cdot D}{\sum D}$	Nota B	$\frac{D}{\sum C}$	$I \cdot F$	$J \cdot E \cdot \sqrt{2}$	$\sqrt{K^2 + L^2}$	Nota E	Nota E
		Gg equivalente CO ₂	Gg equivalente CO ₂	%	%	%	%	%	%	%	%	%		
1A Industrias energía	CO ₂	4763.40	4104.40	3	5	5.83	0.97	-0.03	0.17	-0.17	0.73	0.75	D - R	R
1A Combustión móvil: terrestres	CO ₂	8025.90	9344.80	4	5	6.40	2.42	0.04	0.39	0.22	2.21	2.22	D - R	R
1A Combustión móvil: aéreo	CO ₂	168.10	170.40	5	5	7.07	0.05	0.00	0.01	0.00	0.05	0.05	D - R	R
1A Residencial	CO ₂	3027.70	3611.10	5	5	7.07	1.03	0.02	0.15	0.10	1.07	1.07	D - R	R
1A Comercial	CO ₂	762.90	714.10	5	5	7.07	0.20	0.00	0.03	-0.02	0.21	0.21	D - R	R
1A Industria y Construcción	CO ₂	6848.30	6423.10	2	5	5.39	1.40	-0.03	0.27	-0.13	0.76	0.77	D - R	R
1A Agricultura	CO ₂	61.80	54.80	3	5	5.83	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	D - R	R
Industrias energía	CH ₄	1.80	1.60	1	100	100.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	D - R	R
1A Combustión móvil: terrestres, autotransporte	CH ₄	45.10	48.30	2	40	40.05	0.08	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	D	R
1A Combustión móvil: aéreo	CH ₄	0.00	0.00	2	40	40.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	D - R	R
1A Residencial	CH ₄	128.30	125.90	5	100	100.12	0.51	0.00	0.01	-0.03	0.04	0.05	D - R	R
1A Comercial	CH ₄	2.50	2.30	5	100	100.12	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	D - R	R
1A Industria y Construcción	CH ₄	9.20	7.90	2	100	100.02	0.03	0.00	0.00	-0.01	0.00	0.01	D - R	R
Agricultura	CH ₄	0.20	0.20	5	100	100.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	D - R	R
Industrias energía	N ₂ O	2.60	2.36	5	50	50.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	D - R	R
1A Combustión móvil: terrestres	N ₂ O	20.20	24.40	1	50	50.01	0.05	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	D - R	R
1A Combustión móvil: aéreo	N ₂ O	1.47	1.49	50	1000	1001.25	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	D - R	R
1A Residencial	N ₂ O	32.00	32.70	5	100	100.12	0.13	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	D - R	R
1A Comercial	N ₂ O	2.20	2.00	5	100	100.12	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	D - R	R
1A Industria y Construcción	N ₂ O	9.30	10.30	2	100	100.02	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	D - R	R
Agricultura	N ₂ O	0.20	0.20	5	50	50.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	D - R	R
		$\sum C$	$\sum D$				$\sqrt{\sum H^2}$					$\sqrt{\sum M^2}$		
Total		23913.17	24682.35				3.19					2.70		
Incertidumbre general en el año											incertidumbre en la tendencia			

Sector Procesos Industriales

Inventario de Gases de Efecto Invernadero del Estado de México 2005- 2010														
CALCULO Y PRESENTACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE EN EL NIVEL 1														
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
Categoría de fuentes del IPCC	Gas	Emisiones año base (2005)	Emisiones año (2010)	Incetidumbre en los datos de actividad	Incetidumbre en el factor de emisión	Incetidumbre combinada	Incetidumbre combinada como % del total de emisiones nacionales en el año t	Sensibilidad de tipo A	Sensibilidad de tipo B	Incetidumbre en la tendencia en las emisiones estatal introducida por la incetidumbre en el factor de emisión	Incetidumbre en la tendencia en las emisiones estatal introducida por la incetidumbre en los datos de actividad	Incetidumbre introducida en la tendencia en las emisiones estatales totales	Indicador de calidad del factor de emisión	Indicador de calidad de los datos de actividad
		Datos de entrada	Datos de entrada	Datos de entrada	Datos de entrada	$\sqrt{E^2 + F^2}$	$\frac{G \cdot D}{\sum D}$	Nota B	$\frac{D}{\sum C}$	$I \cdot F$ Nota C	$J \cdot E \cdot \sqrt{2}$ Nota D	$\sqrt{K^2 + L^2}$	Nota E	Nota E
		Gg equivalente CO ₂	Gg equivalente CO ₂	%	%	%	%	%	%	%	%	%		
2. A1 Producción de cemento	CO ₂	972.37	1,331.39	20	8	21.54	17.46	-0.01	1.12	-0.05	31.59	31.59	D - R	R
2. A2 Producción de óxido e hidróxido de calcio	CO ₂	137.44	118.83	10	9	13.45	0.97	-0.06	0.10	-0.53	1.41	1.51	D - R	R
2. A3 Uso de piedra caliza y dolomita	CO ₂	-	75.41	85	6	85.21	3.91	0.06	0.06	0.38	7.60	7.61	D - R	R
2. C1 Producción de hierro y acero	CO ₂	82.39	116.66	10	25	26.93	1.91	0.00	0.10	0.07	1.38	1.39	D - R	R
		$\sum C$	$\sum D$				$\sqrt{\sum H^2}$					$\sqrt{\sum M^2}$		
Total		1192.20	1642.29				18.02					32.56		

Incetidumbre general en el año

Incetidumbre en la tendencia

Sector Agricultura

Inventario de Gases de Efecto Invernadero del Estado de México 2005-2009

CALCULO Y PRESENTACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE EN EL NIVEL 1

Categoría de fuentes del IPCC	Gas	Emisiones año base (2005)	Emisiones año (2010)	Incetidumbre en los datos de actividad	Incetidumbre en el factor de emisión	Incetidumbre combinada	Incetidumbre combinada como % del total de emisiones nacionales en el año t	Sensibilidad de tipo A	Sensibilidad de tipo B	Incetidumbre en la tendencia en las emisiones nacionales introducida por la incetidumbre en el factor de emisión	Incetidumbre en la tendencia en las emisiones nacionales introducida por la incetidumbre en los datos de actividad	Incetidumbre introducida en la tendencia en las emisiones nacionales totales	Indicador de calidad del factor de emisión	Indicador de calidad de los datos de actividad
		Datos de entrada	Datos de entrada	Datos de entrada	Datos de entrada	$\sqrt{E^2 + F^2}$	$\frac{G \cdot D}{\Sigma D}$	Nota B	$\frac{D}{\Sigma C}$	$I \cdot F$	$J \cdot E \cdot \sqrt{2}$	$\sqrt{K^2 + L^2}$	Nota E	Nota E
		Gg equivalente CO ₂	Gg equivalente CO ₂	%	%	%	%	%	%	%	%	%		
4A Fermentación Entérica	CO ₂	21.93	98.93	15	15	21.21	6.23	0.02	0.30	0.30	6.28	6.29	D	R
4B Manejo de estiércol	CO ₂	95.84	90.97	15	20	25.00	1.40	0.00	0.06	-0.04	1.20	1.20	D	R
4C Cultivo de arroz	CO ₂	0.38	0.35	10	20	22.36	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	D	R
4D Suelos agrícolas	CO ₂	2,205.20	1,173.77	15	20	25.00	15.96	-0.02	0.64	-0.31	13.67	13.68	D	R
4E Quemas programadas de suelos	CO ₂					0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	D	R
4F Quemas insitu de residuos agrícolas	CO ₂	49.12	40.08	15	20	25.00	0.29	0.00	0.01	-0.06	0.25	0.26	D	R
		ΣC	ΣD				$\sqrt{\Sigma H^2}$					$\sqrt{\Sigma M^2}$		
Total		3,372.47	3,404.09				17.19					15.10		
							Incetidumbre general en el año					Incetidumbre en la tendencia		

Sector Uso de Suelo Cambio de Uso de Suelo y Silvicultura

Inventario de Gases de Efecto Invernadero del Estado de México 2005 y 2010														
CALCULO Y PRESENTACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE EN EL NIVEL 1														
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
Categoría de fuentes del IPCC	Gas	Emisiones año base (2005)	Emisiones año (2010)	Incertidumbre en los datos de actividad	Incertidumbre en el factor de emisión	Incertidumbre combinada	Incertidumbre combinada como % del total de emisiones nacionales en el año t	Sensibilidad de tipo A	Sensibilidad de tipo B	Incertidumbre en la tendencia en las emisiones nacionales introducida por la incertidumbre en el factor de emisión	Incertidumbre en la tendencia en las emisiones nacionales introducida por la incertidumbre en los datos de actividad	Incertidumbre introducida en la tendencia en las emisiones nacionales totales	Indicador de calidad del factor de emisión	Indicador de calidad de los datos de actividad
		Datos de entrada	Datos de entrada	Datos de entrada	Datos de entrada	$\sqrt{E^2 + F^2}$	$\frac{G \cdot D}{\sum D}$	Nota B	$\frac{D}{\sum C}$	$I \cdot F$	$J \cdot E \cdot \sqrt{2}$	$\sqrt{K^2 + L^2}$	Nota E	Nota E
		Gg equivalente CO ₂	Gg equivalente CO ₂	%	%	%	%	%	%	%	%	%		
5A Cambios de biomasa de bosques y otros tipos de vegetación leñosa	CO ₂	1886.82	1826.84	15	20	25.00	15.77	-0.04	0.65	-0.73	13.69	13.71	D ₂ R	R
5B Conversión de bosques y pastizales	CO ₂	1425.83	1513.60	20	20	28.28	14.78	0.02	0.53	0.38	15.13	15.13	D ₂ R	R
5C Abandono de áreas manejadas	CO ₂	-482.33	-443.63	20	20	28.28	-4.33	0.02	-0.16	0.35	-4.43	4.45	D ₂ R	R
5D Emisiones de suelos minerales	CO ₂	ND	ND	0	0	0	0	0	0	0	0	0	D ₂ R	R
		$\sum C$	$\sum D$				$\sqrt{\sum H^2}$					$\sqrt{\sum M^2}$		
Total		2830.32	2896.81				22.04					20.90		
							Incertidumbre general en el año					Incertidumbre en la tendencia		

Sector Desechos

Inventario de Gases de Efecto Invernadero del Estado de México 2005-2010																
CALCULO Y PRESENTACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE EN EL NIVEL 1																
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
Categoría de fuentes del IPCC	Gas	Emisiones año base (2005)	Emisiones año t (2010)	Incetidumbre en los datos de actividad	Incetidumbre en el factor de emisión	Incetidumbre combinada	Incetidumbre combinada como % del total de emisiones estatales en el año t	Sensibilidad de tipo A	Sensibilidad de tipo B	Incetidumbre en la tendencia en las emisiones estatales introducida por la incetidumbre en el factor de emisión	Incetidumbre en la tendencia en las emisiones estatales introducida por la incetidumbre en los datos de actividad	Incetidumbre introducida en la tendencia en las emisiones estatales totales	Indicador de calidad del factor de emisión	Indicador de calidad de los datos de actividad	Números de referencia del dictamen de expertos	Numero de referencia de la nota al pie
		Datos de entrada	Datos de entrada	Datos de entrada	Datos de entrada	$\sqrt{E^2 + F^2}$	$\frac{G \cdot D}{\sum D}$	Nota B	$\frac{D}{\sum C}$	$I \cdot F$	$J \cdot E \cdot \sqrt{2}$	$\sqrt{K^2 + L^2}$	Nota E	Nota E		
		Gg equivalente CO ₂	Gg equivalente CO ₂	%	%	%	%	%	%	%	%	%				
6A Emisiones de desechos sólidos	CO ₂	7199.64	9913.23	4	10	10.77	8.86	0.28	0.63	2.79	3.55	4.51	D - R	R		
6B Emisiones por el manejo de aguas residuales domésticas	CO ₂	8239.14	1719.01	10	42	43.17	6.16	-0.29	0.11	-12.05	1.54	12.15	D - R	R		
6C Emisiones por el manejo de aguas residuales industriales	CO ₂	368.26	415.18	9	51	51.79	1.78	0.01	0.03	0.43	0.33	0.55	D - R	R		
		$\sum C$	$\sum D$				$\sqrt{\sum H^2}$					$\sqrt{\sum M^2}$				
Total		15807.05	12047.42				10.94					12.97				
Incetidumbre general en el año											incetidumbre en la tendencia					