



COMISIÓN DE COOPERACIÓN ECOLÓGICA FRONTERIZA



Center for Climate Strategies
Helping States and the Nation Tackle Climate Change

EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO EN SONORA Y PROYECCIONES DE CASOS DE REFERENCIA 1990-2020

EN COLABORACIÓN CON EL GOBIERNO DEL
ESTADO DE SONORA



JUNIO 2010

Emisiones de gases de efecto invernadero en Sonora y proyecciones de casos de referencia 1990-2020.

Autores: Daniel Chacón Anaya
María Elena Giner
Mario Vázquez Valles
Juan A. Maldonado
Stephen M. Roe
Rachel Anderson

ISBN: 978-607-8021-07-9

ISBN: 978-607-8021-07-9



© BECC-COCEF
1ª. edición, 2010
Comisión de Cooperación Ecológica Fronteriza
Border Environment Cooperation Commission
Blvd. Tomás Fernández núm. 8069
Ciudad Juárez, Chihuahua, 32470
Tel. (52-656) 688-4600
Impreso en México - Printed in Mexico
Impreso en papel reciclado 24 libras

Emisiones de gases de efecto invernadero en Sonora y proyecciones de casos de referencia 1990-2020 / Daniel Chacón Anaya, María Elena Giner, Mario Vázquez Valles, Juan A. Maldonado, Stephen M. Roe, Rachel Anderson. 1ª. ed.
Ciudad Juárez, Chih.: Comisión de Cooperación Ecológica Fronteriza, 2010.
114 p.; 27 cm.

Incluye bibliografía

ISBN: 978-607-8021-07-9

Este informe es una evaluación preliminar de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) durante el periodo de 1990 a 2005, así como una proyección de las emisiones hasta el 2020. El inventario y proyección sirve como un punto de partida para apoyar al estado con un panorama completo de las emisiones de GEI actuales y las posibles emisiones futuras en Sonora. Este estudio es fundamental para la elaboración del Plan Estatal de Acción Climática (PEAC). El inventario y las proyecciones comprenden los seis tipos de gases que se incluyen en el inventario nacional de emisiones de GEI de México y comúnmente se reportan en los informes internacionales conforme al Protocolo de Kioto: dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), hidrofluorocarbonos (HFCs), perfluorocarbonos (PFCs), y hexafluoruro de azufre (SF₆). Las emisiones de estos GEI se presentan usando una métrica común, el CO₂ equivalente (CO₂e).

1. Gases de efecto invernadero – Sonora, México – Estadísticas (1990-2005)
2. Gases de efecto invernadero - Sonora, México – Proyecciones (2020)
3. Gases de efecto invernadero – Sonora, México – Plan Estatal de Acción Climática
4. Gases de efecto invernadero – Aspectos ambientales – Sonora, México

TD885.8G56 E55 2010



COMISIÓN DE COOPERACIÓN ECOLÓGICA FRONTERIZA



**EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO EN SONORA Y
PROYECCIONES DE CASOS DE REFERENCIA 1990-2020**

**CONTRATO No. CONTA09-033
PID 2024**

Elaborado por:

Juan A. Maldonado, Stephen M. Roe, Rachel Anderson
The Center for Climate Strategies
130 Locust St., Suite 200
Harrisburg PA 17101

Con apoyo de:

Arq. Ángel López Guzmán, Director General de la CEDES
Ing. Ramón A. Castrejón Lemus, Coordinador Técnico de la CEDES
M.C. Martín E. Cruz Campas, Director de Gestión Ambiental
Ing. Francisco Javier Maytorena, Quintero, Coordinador del Proyecto
Comisión de Ecología y Desarrollo Sustentable del Estado de Sonora
Reyes y Aguascalientes Esq. Colonia San Benito
Hermosillo, Sonora, México
Teléfono: 01(662) 210 36 61 y 210 36 62

Julio de 2008

Revisión: Agosto de 2009

Revisión: Junio de 2010

Impresión Octubre 2010



The Center for Climate Strategies

Helping States and the Nation Tackle Climate Change

[Esta página se dejó en blanco intencionalmente.]

Agradecimientos

Agradecemos todo el tiempo y el apoyo que nos han sido brindados por las diversas instancias del Estado de Sonora, así como los estados vecinos y las dependencias federales. Nuestra mayor gratitud por sus inestimables aportaciones al personal del Instituto Nacional de Ecología (INE), la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), PEMEX Gas y Petroquímica, PEMEX Refinación, la Secretaría de Energía (SENER), la Comisión Federal de Electricidad (CFE), la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), y el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI); además al Mtro. Daniel Chacón y a la Ing. María Elena Giner, PE; de la Comisión de Cooperación Ecológica Fronteriza (COCEF).

Los autores también desean expresar su agradecimiento a los señores Maureen Mullen, Luana Williams, y Jackson Schreiber de Center for Climate Strategies (CCS), quienes aportaron valiosos comentarios al desarrollo de este informe. Gracias también a Katie Bickel por su calificada asesoría sobre los contenidos del Apéndice F y el Apéndice H.

[Esta página se dejó en blanco intencionalmente.]

Contenidos

	<u>Página</u>
Agradecimientos	ii
Acrónimos y Términos Importantes	v
Resumen Ejecutivo	vii
Resumen de Resultados Preliminares	1
Introducción 1	
Emisiones de Gases de Efecto Invernadero en Sonora: Fuentes y Tendencias	3
Emisiones Históricas.....	3
Descripción General.....	3
Un Análisis Minucioso de las Tres Fuentes Principales: los Sectores de Suministro Eléctrico, Transporte, y Agricultura	8
Proyecciones del Caso de Referencia	10
Incertidumbres Principales y Pasos Siguietes.....	12
Enfoque	13
Metodología General	13
Principios y Lineamientos Generales.....	14
Apéndice A. Suministro y Consumo de Electricidad	A-1
Apéndice B. Quema de Combustible Residencial, Comercial, e Industrial (RCI).....	B-1
Apéndice C. Consumo de Energía en el Transporte.....	C-1
Apéndice D. Procesos Industriales y Uso de Productos	D-1
Apéndice E. Industrias de Combustibles Fósiles.....	E-1
Apéndice F. Agricultura.....	F-1
Apéndice G. Manejo de Residuos.....	G-1
Apéndice H. Silvicultura y Uso de Suelo	H-1
Apéndice I. Recomendaciones del INE para la siguiente actualización de los Inventarios de GEI	I-1

[Esta página se dejó en blanco intencionalmente.]

Acrónimos y Términos Importantes

AR – Aguas residuales

bbls – Barriles

Btu – Unidad térmica británica

C – Carbono

CaCO₃ – Carbonato de calcio

CCS – Center for Climate Strategies [*Centro de Estrategias Climáticas*]

CEDES – Comisión de Ecología y Desarrollo Sustentable del Estado de Sonora

CFCs – Clorofluorocarbonos

CH₄ – Metano

CHP – Combined Heat and Power [*Calor y energía combinados*]

CO₂ – Dióxido de carbono

CO₂e – Dióxido de carbono equivalente

CONAFOR – Comisión Nacional Forestal

DBO – Demanda bioquímica de oxígeno

EE.UU. – Estados Unidos

EIIP – Emission Inventory Improvement Program [*Programa de Mejoras a los Inventarios de Emisiones*]

EPA – Environmental Protection Agency [*Agencia de Protección Ambiental de los EE.UU.*]

Gg – Gigagramo

GEI – Gas de efecto invernadero

GLP – Gas licuado de petróleo

GWh – Gigawatt-hora

H₂CO₃ – Ácido carbónico

HCC – Herramienta calculadora de carbono

HCFCs – Hidroclorofluorocarbonos

HFCs – Hidrofluorocarbonos

HNO₃ – Ácido nítrico

INEGI – Instituto Nacional de Estadística y Geografía

IPCC – International Panel on Climate Change [*IPCC – Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático*]

kg – Kilogramo

kWh – Kilowatt-hora

lb – Libra

LFGTE – Landfill Gas Collection System and Landfill-Gas-to-Energy [*Sistema de recolección de gases de relleno sanitario y biogás-a-energía*]

Mg – Megagramos

MMBtu – Millón de unidades térmicas británicas

MTm – Millón de toneladas métricas

MTmCO₂e – Millón de toneladas métricas de dióxido de carbono equivalente

N₂O – Óxido nitroso

NEMS – National Energy Modeling System [*Sistema Nacional de Modelaje de Energía*]

NH₃ – Amoníaco

OEIDRUS - Oficina Estatal de Información para el Desarrollo Rural Sustentable

PCG – Potencial de calentamiento global

PFCs – Perfluorocarbonos

PMC – Productos de madera cosechada

ppb – Partes por billón [mil millones]

ppm – Partes por millón

ppmv – Partes por millón por volumen

ppt – Partes por trillón [un millón de millones]

RCI – Residencial, comercial, e industrial

RS – Relleno sanitario

RSM – Residuos sólidos municipales

SACO – Sustancia agotadoras de la capa de ozono

SEMARNAT – Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales

SENER – Secretaría de Energía

SF₆ – Hexafluoruro de azufre

SIACON -- Sistema de Información Agropecuaria de Consulta

SIT – State Greenhouse Gas Inventory Tool [*Herramienta para inventarios estatales de gases de efecto invernadero*]

T&D – Transmisión y distribución

Tm – Tonelada métrica (equivalente a 1.102 toneladas cortas [toneladas americanas])

Resumen Ejecutivo

La Comisión de Cooperación Ecológica Fronteriza (COCEF) cuyo principal objetivo es apoyar proyectos ambientales para mejorar el medio ambiente y la salud humana en la frontera entre los EUA y México, ha venido implementando diversas acciones para apoyar a los estados fronterizos mexicanos para que elaboren su Plan Estatal de Acción Climática (PEAC); uno de los insumos más importantes para el PEAC es el inventario y pronóstico de los Gases de Efecto de Invernadero (GEI); con este objetivo se contrató al Centro de Estrategias Climáticas (*Center for Climate Strategies*, CCS), para que elaborara este informe en colaboración con la Comisión de Ecología y Desarrollo Sustentable del Estado de Sonora (CEDES). La CEDES aportó liderazgo, coordinación e insumo técnico al desarrollo del inventario y proyección de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). En él se presenta una evaluación preliminar de las emisiones GEI en el Estado durante el periodo de 1990 a 2005, así como una proyección de las emisiones hasta el año 2020. El inventario y proyección sirven como un punto inicial para que el Estado tenga un panorama completo de las emisiones de GEI actuales y las posibles emisiones futuras en Sonora.

Se calcularon las emisiones antropogénicas de GEI y los sumideros antropogénicos (almacenamiento de carbono) de 1990 a 2020. Las estimaciones históricas sobre emisiones de GEI (1990 a 2005)¹ se elaboraron usando una serie de principios y lineamientos generalmente aceptados para los inventarios estatales de emisiones de GEI, con base en datos y cifras específicos sobre Sonora en la medida de lo posible. Las proyecciones iniciales de los casos de referencia (2006-2020) se sustentan en una compilación de diversas proyecciones sobre la producción de energía, el consumo de combustible y otras actividades generadoras de GEI en Sonora, además de un grupo de sencillos y elementales supuestos que se describen en los apéndices.

El inventario y las proyecciones comprenden los seis tipos de gases que se incluyen en el inventario nacional de México y que se reportan comúnmente en los informes internacionales conforme al Protocolo de Kioto: dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), hidrofluorocarbonos (HFCs), perfluorocarbonos (PFCs), y hexafluoruro de azufre (SF₆). Las emisiones de estos GEI se presentan usando una métrica común, el CO₂ equivalente (CO₂e), la cual indica la aportación relativa de cada gas, por masa unitaria, al forzamiento radiativo global promedio con base en el potencial de calentamiento global (PCG) ponderado.²

Como lo indica el Cuadro ES-1, las actividades en Sonora constituyeron aproximadamente 19.8 millones de toneladas métricas de emisiones *brutas*³ de CO₂e (MTmCO₂e) basadas en la producción en 2005, una cantidad igual a alrededor del 3.0% de las emisiones brutas de GEI de México en el 2005, excluyendo los sumideros de carbono, como reservas de carbono en zonas

¹ El último año de datos históricos disponibles es distinto según el sector, oscilando entre el 2000 y el 2005.

² Los cambios en las concentraciones atmosféricas de GEI pueden alterar el equilibrio de las transferencias de energía entre la atmósfera, el espacio, la tierra y los océanos. Uno de los indicadores de estos cambios se denomina forzamiento radiativo, el cual es sencillamente la medida de los cambios en la energía disponible en el sistema Tierra-atmósfera (IPCC, 1996). Manteniendo todo lo demás constante, los incrementos en las concentraciones de GEI en la atmósfera producirán un forzamiento radiativo positivo (es decir, un incremento neto en la absorción de energía por parte de la Tierra), <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.htm>.

³ De las emisiones "brutas" se excluyen las emisiones de GEI eliminadas (secuestradas) debido a la actividad forestal y otros usos de suelo. Asimismo, de las emisiones "basadas en el consumo" se excluyen las emisiones de GEI relacionadas con la electricidad para exportación.

forestales. En Sonora las emisiones brutas de GEI basadas en la producción aumentaron en un 34% de 1990 al 2005, mientras que en el ámbito nacional, aumentaron en un 31% en el mismo lapso. El aumento en las emisiones en Sonora de 1990 al 2005 se relaciona principalmente con el consumo de electricidad y las actividades de transporte.⁴

En este informe también se incluyen estimaciones iniciales sobre los sumideros de carbono que se encuentran dentro de las zonas boscosas de Sonora. Sin embargo, aún se necesita trabajar más para poder comprender mejor las emisiones/los sumideros de CO₂ en las zonas arboladas urbanas, los cambios en el uso de suelo, y las prácticas de cultivo que generan cambios en los suelos agrícolas. También hay mucha necesidad de depurar aún más las estimaciones iniciales sobre los sumideros forestales que se presentan en este informe (Ej. para contabilizar las pérdidas/ganancias en zonas forestales; ver Apéndice H). Al optimizar las estimaciones sobre sumideros de carbono forestal y agrícola podría haber cambios sustanciales en las estimaciones iniciales de este informe. Las estimaciones actuales indican que en el 2005 se almacenaron en la biomasa forestal de Sonora alrededor de 8.42 MTmCO₂e. La inclusión de este sumidero arroja un resultado de 11.4 MTmCO₂e en emisiones *netas* basadas en la producción en Sonora en el 2005.

En la figura ES-1 se comparan las emisiones brutas de producción per cápita y por unidad de derrama económica en México y en el Estado.⁵ Per cápita, Sonora emitió alrededor de 7.98 toneladas métricas de CO₂e (MTmCO₂e) bruto en 1995, una cifra más alta que el promedio nacional de 5.96 MTmCO₂e en 1995. Desde 1995 las emisiones per cápita en Sonora aumentaron, hasta llegar a 8.28 MTmCO₂e en el 2005, mientras que las emisiones per cápita en México aumentaron hasta 6.35 MTmCO₂e en el mismo año. Aunque la población de Sonora ha crecido al ritmo nacional, las emisiones en el estado se han incrementado a un ritmo más acelerado, lo cual provocó que las emisiones estatales per cápita aumentaran de 1995 al 2005. Por otro lado, el crecimiento económico en Sonora rebasó el nivel de aumento de las emisiones durante el periodo de 1990-2005, lo cual generó un declive en las estimaciones de emisiones de GEI por unidad de producto estatal. De 1995 al 2005, las emisiones en Sonora por unidad de producto bruto bajaron en un 21.6%.⁶

Tal como lo ilustra la Figura ES-2 y se indica en forma numérica en el Cuadro ES-1, conforme a las proyecciones de los casos de referencia, las emisiones brutas de GEI basadas en el consumo en Sonora aumentan entre 1990 y 2020 y se proyecta que lleguen a los 33.6 MTmCO₂e para el año 2020. Esto representaría un incremento del 124% por encima de los niveles de 1990. Como muestra la Figura ES-3, se proyecta que el sector generador de electricidad será el que contribuya más a aumentar las emisiones futuras en Sonora, seguido del sector transporte (con la suma de todos los subsectores transportistas).

⁴ La comparación con los resultados nacionales proviene de la publicación oficial titulada: *México, Tercera Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. México: INE-SEMARNAT, 2006. Disponible en www.ine.gob.mx. Los valores disponibles sobre emisiones anuales fueron del orden de 498,747.57 y 618,071.73 gigagramos en 1990 y 2002, respectivamente. Las emisiones del 2005 se obtuvieron a partir de estos valores, con un resultado de 655,476.60 gigagramos.

⁵ Las estadísticas sobre población de Sonora se derivaron de la información del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) y la Tercera Comunicación Nacional ante la Convención de las Naciones Unidas.

⁶ Con base en el producto doméstico expresado a valores constantes en pesos mexicanos para el 2003.

Existen algunas lagunas de información en este análisis, particularmente con respecto a las proyecciones de los casos de referencia. Las tareas primordiales para resolver dichas lagunas consisten en el análisis y la actualización de los generadores de emisiones que serán los principales determinantes de las emisiones de GEI en Sonora a futuro (como los supuestos sobre el índice de crecimiento para la generación y el consumo de electricidad, el consumo de combustible para transporte, los procesos industriales, y el consumo de combustible RCI). En los Apéndices A al H se presentan los métodos detallados, las fuentes de datos, y los supuestos que se consideraron para cada sector generador de GEI, además de que también se incluyen las descripciones de las incertidumbres significativas en las estimaciones de las emisiones y/o los métodos, y se sugieren los siguientes pasos para depurar el inventario y proyección.

Cuadro ES-1. Emisiones de GEI históricas y de casos de referencia en Sonora por sector

(Millones de Toneladas Métricas de CO ₂ e)	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020
En base al Consumo Energético	9.60	12.4	13.3	13.4	15.7	19.3	23.7
En base al Consumo Eléctrico	4.03	5.50	7.03	6.84	7.58	9.76	12.2
Combustóleo	4.03	5.5	6.72	4.84	3.95	6.42	8.86
Gas Natural	0	0	0.30	2.00	3.63	3.34	3.32
Electricidad Neta Importada	1.20E-03	1.70E-03	2.30E-03	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
En base de la Producción Eléctrica	4.03	5.5	7.03	6.84	7.58	9.76	12.2
Res/Com/Ind (RCI)	1.58	2.56	1.27	1.06	1.43	1.78	2.30
Gas Licuado de Petróleo	0.58	0.58	0.55	0.44	0.47	0.49	0.52
Gas Natural	0.24	0.27	0.28	0.33	0.37	0.41	0.46
Diesel	0.7	1.65	0.37	0.24	0.54	0.82	1.26
Leña	0.06	0.06	0.06	0.05	0.05	0.05	0.06
Transporte	3.78	4.12	4.79	5.25	6.46	7.57	8.94
Gasolina de Carretera	1.65	1.75	1.96	2.44	3.17	3.73	4.39
Diesel de Carretera	0.93	1.18	1.54	1.54	1.83	2.16	2.55
Navegación Acuática	0.11	0.11	0.17	0.20	0.32	0.50	0.79
Aviación	0.26	0.28	0.32	0.26	0.29	0.30	0.31
Ferrocarril	0.17	0.14	0.14	0.15	0.20	0.22	0.24
Otros	0.66	0.66	0.66	0.66	0.66	0.66	0.66
Industria de Combustibles Fósiles	0.16	0.18	0.19	0.22	0.23	0.24	0.25
Industria del Gas Natural	0.16	0.18	0.19	0.22	0.23	0.24	0.25
Transmisión	0.04	0.05	0.05	0.05	0.05	0.06	0.06
Distribución	0.12	0.14	0.14	0.15	0.16	0.16	0.17
Uso de Combustible del Gasoducto	0	0	0	0.02	0.02	0.02	0.02
Procesos Industriales	0.69	0.93	1.25	1.66	2.23	2.99	4.04
Manufactura de Cemento (CO ₂)	0.59	0.79	1.06	1.44	1.89	2.55	3.43
Manufactura de Cal (CO ₂)	0.03	0.04	0.05	0.07	0.09	0.12	0.16
Uso de Caliza y Dolomita (CO ₂)	0.03	0.04	0.05	0.07	0.09	0.12	0.16
Sustitutos de ODS (HFC, CFC)	0.03	0.04	0.05	0.02	0.09	0.10	0.15
Otros (CO ₂)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Manejo de Residuos	0.95	1.09	1.18	1.34	1.43	1.52	1.61
Combustión de Residuos	0.13	0.17	0.21	0.29	0.3	0.31	0.33
Rellenos Sanitarios	0.34	0.38	0.42	0.46	0.51	0.56	0.61
Manejo de Aguas Residuales	0.48	0.55	0.56	0.6	0.62	0.65	0.68
Agricultura	3.76	3.1	2.77	3.47	3.70	3.98	4.31
Fermentación Entérica	1.98	1.57	1.36	1.83	1.97	2.13	2.3
Manejo de Estiércol	0.18	0.16	0.16	0.18	0.18	0.19	0.2
Suelos Agrícolas	1.57	1.34	1.22	1.4	1.52	1.64	1.78
Cultivo de Arroz	0	0	0	0	0	0	0
Quema Agrícola	0.03	0.03	0.03	0.07	0.03	0.03	0.03
Silvicultura y Uso del Terreno	-8.21	-9.12	-6.29	-8.42	-7.96	-7.96	-8.69
Paisaje Forestal	-8.21	-9.12	-6.29	-8.42	-7.96	-7.96	-8.69
Quemas Forestales	1.80E-04	1.70E-04	3.40E-04	2.30E-04	2.50E-04	2.50E-04	2.10E-04
Emisiones Brutas (en base al consumo)	15.0	17.5	18.5	19.8	23.1	27.8	33.6
<i>Aumento en relación a 1990</i>		17%	23%	33%	54%	86%	124%
Sumidores para Emisiones	-8.21	-9.12	-6.29	-8.42	-7.96	-7.96	-8.69
Emisiones Netas (inc. silvicultura)	6.74	8.36	12.2	11.4	15.1	19.9	24.9
<i>Aumento en relación a 1990</i>		24%	81%	70%	124%	195%	270%

(Millones de Toneladas Métricas de CO ₂ e)	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020
Emisiones Brutas (en base a la producción)	15.0	17.5	18.5	19.8	23.1	27.8	33.6
<i>Aumento en relación a 1990</i>		17%	23%	33%	54%	86%	125%
Emisiones Netas (inc. silvicultura)	6.7	8.3	12.1	11.4	15.0	19.8	24.8
<i>Aumento en relación a 1990</i>		24%	81%	70%	124%	195%	270%

Figura ES-1. Emisiones brutas de GEI históricas basadas en la producción en Sonora y a nivel nacional, per cápita y por unidad de derrama económica

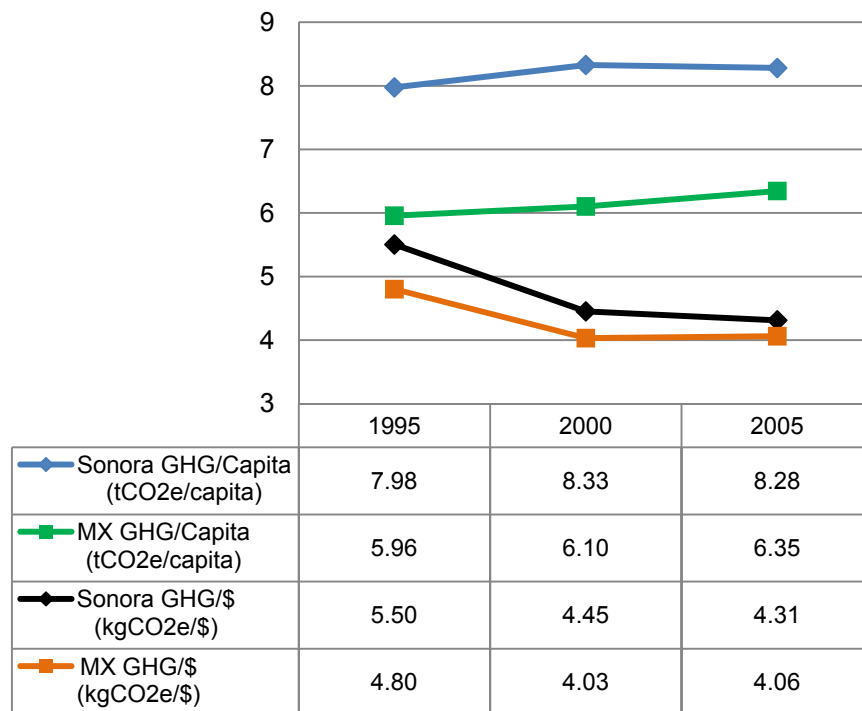


Figura ES-2. Emisiones brutas de GEI basadas en el consumo en Sonora por sector, 1990-2020

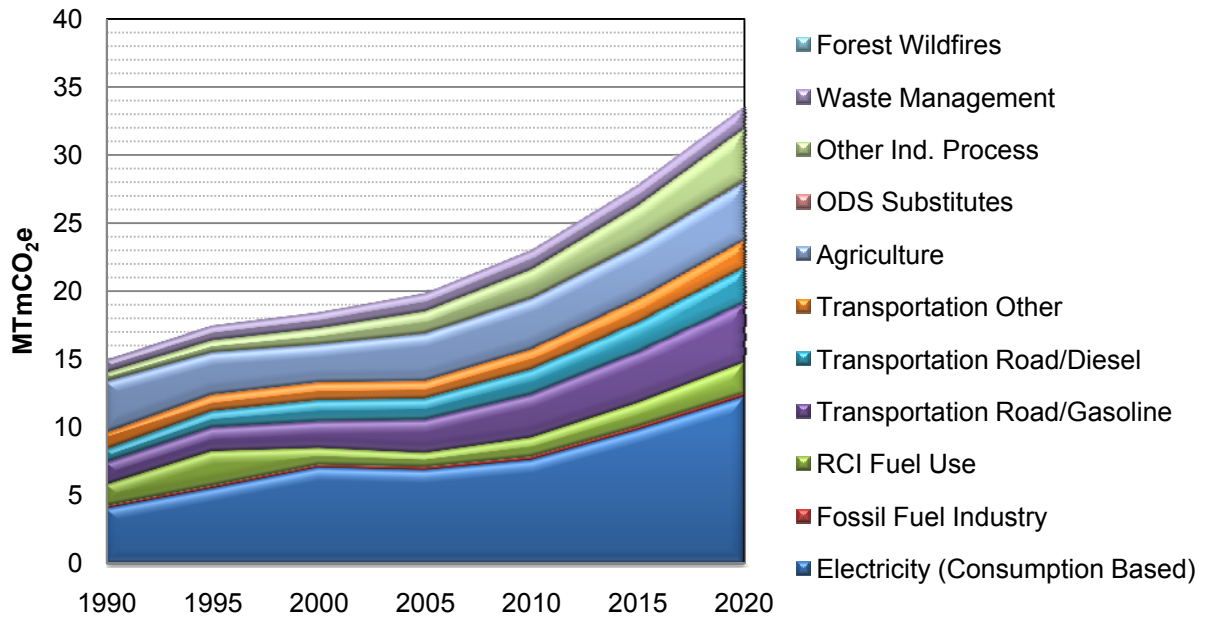
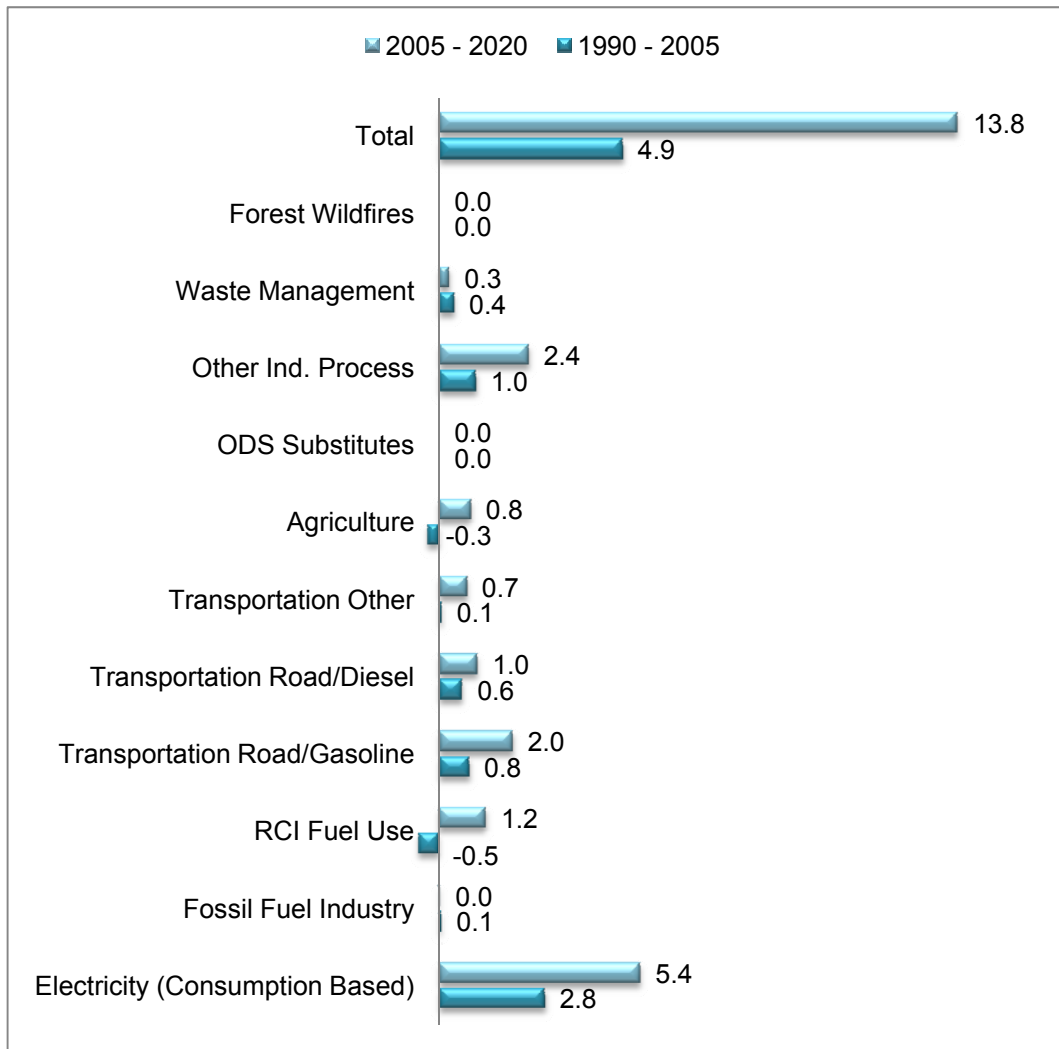


Figura ES-3. Contribuciones por sector al aumento en las emisiones brutas en Sonora, 1990-2020: (Con base en MTmCO₂e)



RCI – consumo directo de combustible en sectores residenciales, comerciales e industriales. SACO – sustancia destructora del ozono (ODS por sus siglas en inglés). Las emisiones relacionadas con otros procesos industriales incluyen todas las industrias identificadas en el Apéndice D, con excepción de las emisiones relacionadas con los sustitutos de las SACO que se muestran por separado en esta gráfica.

[Esta página se dejó en blanco intencionalmente.]

Resumen de Resultados Preliminares

Introducción

La Comisión de Cooperación Ecológica Fronteriza (COCEF) cuyo principal objetivo es apoyar proyectos ambientales para mejorar el medio ambiente y la salud humana en la frontera entre los EUA y México, ha venido implementando diversas acciones para apoyar a los estados fronterizos mexicanos para que elaboren su Plan Estatal de Acción Climática (PEAC); uno de los insumos más importantes para el PEAC es el inventario y pronóstico de los Gases de Efecto de Invernadero (GEI), con este objetivo se contrató al Centro de Estrategias Climáticas (*Center for Climate Strategies*, CCS), que elaboró este informe en colaboración con la Comisión de Ecología y Desarrollo Sustentable del Estado de Sonora (CEDES). En él se presenta una evaluación preliminar de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y sumideros antropogénicos en el Estado del año 1990 al 2020. El inventario y las proyecciones constituyen un punto inicial para que el Estado tenga un panorama completo de las emisiones de GEI actuales y las posibles emisiones futuras en Sonora, por lo cual pueden servir como fundamento para una posterior identificación y análisis de opciones para la aplicación de políticas tendientes a mitigar las emisiones de GEI.

Las estimaciones históricas sobre emisiones de GEI (1990 a 2005) se elaboraron usando una serie de principios y lineamientos generalmente aceptados para los inventarios estatales de emisiones de GEI, como se describe en la sección titulada "Enfoque", a continuación. Para estas estimaciones se consideraron datos y cifras específicos sobre Sonora en la medida de lo posible. Las proyecciones iniciales de los casos de referencia (2006-2020) se sustentan en una compilación de diversas proyecciones sobre la producción de energía, el consumo de combustible y otras actividades generadoras de GEI en Sonora, además de un grupo de sencillos y elementales supuestos que se describen en los apéndices.

Este informe comprende los seis tipos de gases que se incluyen en el inventario nacional de México y que se reportan comúnmente en los informes internacionales conforme al Protocolo de Kioto: dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), hidrofluorocarbonos (HFCs), perfluorocarbonos (PFCs), y hexafluoruro de azufre (SF₆). Las emisiones de estos GEI se presentan usando una métrica común, el CO₂ equivalente (CO₂e), la cual indica la aportación relativa de cada gas, por masa unitaria, al forzamiento radiativo global promedio con base en el potencial de calentamiento global (PCG) ponderado.⁷

Cabe mencionar que las estimaciones preliminares sobre emisiones representan las *emisiones de GEI asociadas con las fuentes de electricidad que se usan para satisfacer las demandas de Sonora*, las cuales corresponden a una contabilización de emisiones basada en el consumo (ver la sección titulada "Enfoque"). Otra forma de abordar las emisiones eléctricas es considerando las *emisiones de GEI que producen las plantas generadoras de electricidad en el Estado*. El

⁷ Los cambios en las concentraciones atmosféricas de GEI pueden alterar el equilibrio de las transferencias de energía entre la atmósfera, el espacio, la tierra y los océanos. Una forma de medir estos cambios se denomina forzamiento radiativo, el cual es una sencilla medida de los cambios en la energía disponible en el sistema Tierra-atmósfera (IPCC, 1996). Siempre y cuando todo lo demás sea constante, los aumentos en las concentraciones de GEI en la atmósfera producirán un forzamiento radiativo positivo (es decir, un incremento neto en la absorción de energía por parte de la Tierra), <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.htm>.

presente informe contempla ambos métodos de contabilización de emisiones, pero con el fin de darle uniformidad a los datos, todos los resultados totales se reportan usando cifras *basadas en el consumo*.

Emisiones de Gases de Efecto Invernadero en Sonora: Fuentes y Tendencias

El Cuadro 1 presenta un resumen de las emisiones de GEI en Sonora calculadas para los años 1990, 2000, 2005, 2010, y 2020. En él se presentan los resultados del inventario y proyección de emisiones GEI de acuerdo a cuatro formas de contabilidad: 1) emisiones por consumo, 2) emisiones por producción, 3) emisiones netas, 4) emisiones brutas. El tipo de contabilidad se especifica en cada figura y cuadro. Adicionalmente, es importante resaltar que las comparaciones con el Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (INEGEI) se hicieron en base de la contabilidad de las emisiones brutas por producción para ser consistentes con la presentación de los resultados por los autores del INEGEI.

Los detalles sobre los métodos y las fuentes de datos que se usaron para elaborar las estimaciones se presentan en los apéndices de este informe. En las siguientes secciones se ofrece un breve planteamiento sobre las fuentes de emisión de GEI (emisiones positivas, o *brutas*) y los sumideros (emisiones negativas) por separado, a fin de identificar claramente las tendencias e incertidumbres de cada uno.

En esta sección del informe se presenta un resumen de las emisiones históricas (1990 a 2005), seguido de un resumen de las emisiones de los años proyectados en los casos de referencia (2006 a 2020) y las incertidumbres principales. Posteriormente se plantea un esquema de las metodologías generales, los principios y los lineamientos que se siguieron para elaborar los inventarios. En los Apéndices A al H se exponen los métodos detallados, las fuentes de datos, y los supuestos de cada sector generador de GEI.

Emisiones Históricas

Descripción General

Los análisis preliminares sugieren que en el 2005, las actividades en Sonora representaron aproximadamente 19.7 millones de toneladas métricas de emisiones *brutas* de CO₂e (MTmCO₂e) basadas en la producción en 2005, una cantidad igual a alrededor del 3.0% de las emisiones brutas de GEI de México en el 2005⁸. Las emisiones brutas de GEI en Sonora están aumentando a un ritmo poco mayor que las del país en general (las emisiones brutas no incluyen los sumideros de carbono, como los bosques). Las emisiones brutas de GEI en Sonora aumentaron un 34% de 1990 al 2005, mientras que las emisiones nacionales se elevaron un 31% en ese mismo lapso.

La Figura 1 representa las emisiones per cápita en el Estado y por unidad de derrama económica.⁹ Per cápita, Sonora emitió alrededor de 7.98 toneladas métricas de CO₂e

⁸ La comparación con los resultados nacionales proviene de la publicación oficial titulada: *México, Tercera Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. México: INE-SEMARNAT, 2006. Disponible en www.ine.gob.mx. Los valores de las emisiones anuales fueron del orden de 498,747.57 y 618,071.73 gigagramos en 1990 y 2002, respectivamente. Las emisiones del 2005 se obtuvieron a partir de estos valores, con un resultado de 655,476.60 gigagramos.

⁹ Consultado en junio de 2008 en: <http://www.inegi.gob.mx/est/contenidos/espanol/cubos/default.asp?c=1413>

(MTmCO₂e) bruto en 1995, una cifra más alta que el promedio nacional de 5.96 MTmCO₂e en 1995. Desde 1995 las emisiones per cápita en Sonora aumentaron, hasta llegar a 8.28 MTmCO₂e en el 2005. Aunque a un ritmo más bajo, las emisiones nacionales también aumentaron hasta llegar a 6.35 MTmCO₂e en el mismo año. No obstante que la población de Sonora ha crecido al ritmo nacional, las emisiones en el estado se han incrementado a un ritmo más acelerado, lo cual provocó que las emisiones estatales per cápita aumentaran de 1995 al 2005. Por otro lado, el crecimiento económico en Sonora rebasó el nivel de aumento de las emisiones durante el periodo de 1990-2005, lo cual generó un declive en las estimaciones de emisiones de GEI por unidad de producto estatal. De 1995 al 2005, las emisiones en Sonora por unidad de producto bruto bajaron en un 21.7%.¹⁰

En la Figura 2 se comparan las emisiones brutas de GEI basadas en la producción de Sonora con las emisiones de todo México en el 2005, conforme a los sectores productivos que considera el Instituto Nacional de Ecología (INE). Las principales fuentes de emisiones de GEI en Sonora son el uso de energía y la agricultura. El uso de energía incluye actividades tales como la generación de potencia, el transporte, la producción de combustibles fósiles y la exploración, así como el consumo residencial, comercial e industrial de combustibles primarios (Ej. gasolina, diesel, carbón, gas natural, gas licuado de petróleo). El sector agrícola se concentra en los efectos que la actividad humana tiene sobre el ciclo del nitrógeno. Los gases de efecto invernadero potenciales pueden quedar retenidos o ser liberados hacia la atmósfera a un ritmo por encima del normal, como sucede en el caso de la descomposición aeróbica del estiércol. El sector agrícola también es el responsable de la liberación de metano hacia la atmósfera por parte del ganado, debido a la fermentación entérica y a la descomposición anaeróbica del estiércol. En el 2005, los sectores energético y agrícola constituyeron el 67% y el 18% del total de las emisiones de GEI en el Estado de Sonora. En el ámbito nacional, estos mismos sectores representaron el 63% y el 7% de las emisiones brutas de GEI en México en el 2005.

¹⁰ Con base en el producto doméstico expresado a valores constantes en pesos mexicanos para el 2003, usando una paridad cambiaria de 10 pesos por 1 dólar. (<http://www.epa.gov/climatechange/emissions/usinventoryreport.html>).

Cuadro 1. Emisiones de GEI históricas y de casos de referencia en Sonora por sector^a

(Millones de Toneladas Métricas de CO ₂ e)	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020
En base al Consumo Energético	9.6	12.4	13.3	13.4	15.7	19.3	23.7
En base al Consumo Eléctrico	4.03	5.50	7.03	6.84	7.58	9.76	12.2
Combustóleo	4.03	5.5	6.72	4.84	3.95	6.42	8.86
Gas Natural	0	0	0.30	2.00	3.63	3.34	3.32
Electricidad Neta Importada	1.20E-03	1.70E-03	2.30E-03	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
En base de la Producción Eléctrica	4.03	5.5	7.03	6.84	7.58	9.76	12.2
Res/Com/Ind (RCI)	1.58	2.56	1.27	1.06	1.43	1.78	2.30
Gas Licuado de Petróleo	0.58	0.58	0.55	0.44	0.47	0.49	0.52
Gas Natural	0.24	0.27	0.28	0.33	0.37	0.41	0.46
Diesel	0.7	1.65	0.37	0.24	0.54	0.82	1.26
Leña	0.06	0.06	0.06	0.05	0.05	0.05	0.06
Transporte	3.78	4.12	4.79	5.25	6.46	7.57	8.94
Gasolina de Carretera	1.65	1.75	1.96	2.44	3.17	3.73	4.39
Diesel de Carretera	0.93	1.18	1.54	1.54	1.83	2.16	2.55
Navegación Acuática	0.11	0.11	0.17	0.20	0.32	0.50	0.79
Aviación	0.26	0.28	0.32	0.26	0.29	0.30	0.31
Ferrocarril	0.17	0.14	0.14	0.15	0.20	0.22	0.24
Otros	0.66	0.66	0.66	0.66	0.66	0.66	0.66
Industria de Combustibles Fósiles	0.16	0.18	0.19	0.22	0.23	0.24	0.25
Industria del Gas Natural	0.16	0.18	0.19	0.22	0.23	0.24	0.25
Transmisión	0.04	0.05	0.05	0.05	0.05	0.06	0.06
Distribución	0.12	0.14	0.14	0.15	0.16	0.16	0.17
Uso de Combustible del Gasoducto	0	0	0	0.02	0.02	0.02	0.02
Procesos Industriales	0.69	0.93	1.25	1.66	2.23	2.99	4.04
Manufactura de Cemento (CO ₂)	0.59	0.79	1.06	1.44	1.89	2.55	3.43
Manufactura de Cal (CO ₂)	0.03	0.04	0.05	0.07	0.09	0.12	0.16
Uso de Caliza y Dolomita (CO ₂)	0.03	0.04	0.05	0.07	0.09	0.12	0.16
Sustitutos de ODS (HFC, CFC)	0.03	0.04	0.05	0.02	0.09	0.10	0.15
Otros (CO ₂)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Manejo de Residuos	0.95	1.09	1.18	1.34	1.43	1.52	1.61
Combustión de Residuos	0.13	0.17	0.21	0.29	0.3	0.31	0.33
Rellenos Sanitarios	0.34	0.38	0.42	0.46	0.51	0.56	0.61
Manejo de Aguas Residuales	0.48	0.55	0.56	0.6	0.62	0.65	0.68
Agricultura	3.76	3.1	2.77	3.47	3.70	3.98	4.31
Fermentación Entérica	1.98	1.57	1.36	1.83	1.97	2.13	2.3
Manejo de Estiércol	0.18	0.16	0.16	0.18	0.18	0.19	0.2
Suelos Agrícolas	1.57	1.34	1.22	1.4	1.52	1.64	1.78
Cultivo de Arroz	0	0	0	0	0	0	0
Quema Agrícola	0.03	0.03	0.03	0.07	0.03	0.03	0.03
Silvicultura y Uso del Terreno	-8.21	-9.12	-6.29	-8.42	-7.96	-7.96	-8.69
Paisaje Forestal	-8.21	-9.12	-6.29	-8.42	-7.96	-7.96	-8.69
Quemas Forestales	1.80E-04	1.70E-04	3.40E-04	2.30E-04	2.50E-04	2.50E-04	2.10E-04
Emisiones Brutas (en base al consumo)	15.0	17.5	18.5	19.8	23.1	27.8	33.6
<i>Aumento en relación a 1990</i>		17%	23%	33%	54%	86%	124%
Sumideros para Emisiones	-8.21	-9.12	-6.29	-8.42	-7.96	-7.96	-8.69
Emisiones Netas (inc. silvicultura)	6.74	8.36	12.2	11.4	15.1	19.9	24.9
<i>Aumento en relación a 1990</i>		24%	81%	70%	124%	195%	270%

(Millones de Toneladas Métricas de CO ₂ e)	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020
Emisiones Brutas (en base a la producción)	15.0	17.5	18.5	19.8	23.1	27.8	33.6
<i>Aumento en relación a 1990</i>		17%	23%	33%	54%	86%	125%
Emisiones Netas (inc. silvicultura)	6.7	8.3	12.1	11.4	15.0	19.8	24.8
<i>Aumento en relación a 1990</i>		24%	81%	70%	124%	195%	270%

Figura 1. Emisiones brutas de GEI históricas basadas en la producción en Sonora y en México, per cápita y por unidad de derrama económica en dólares

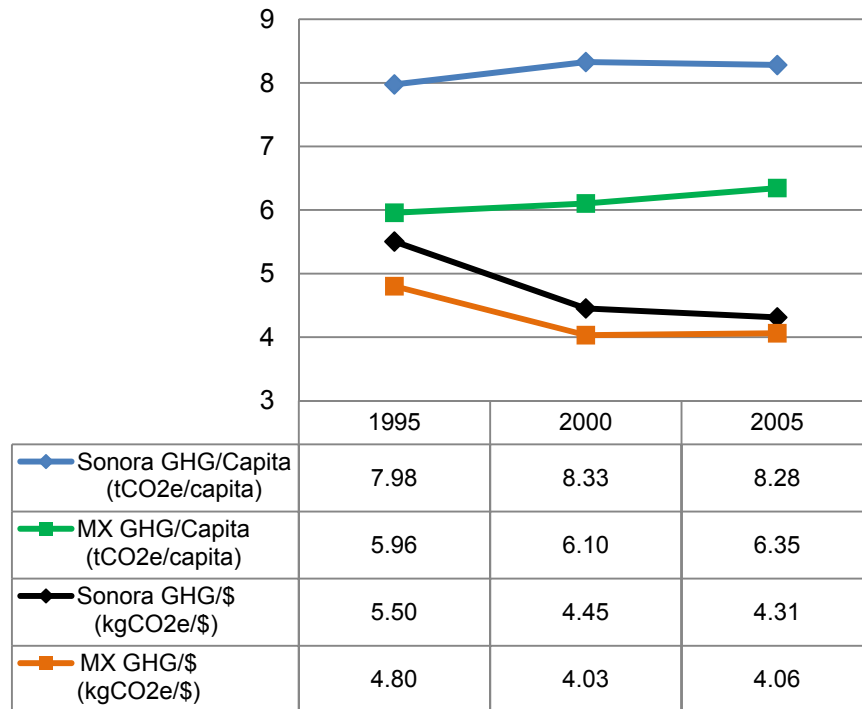
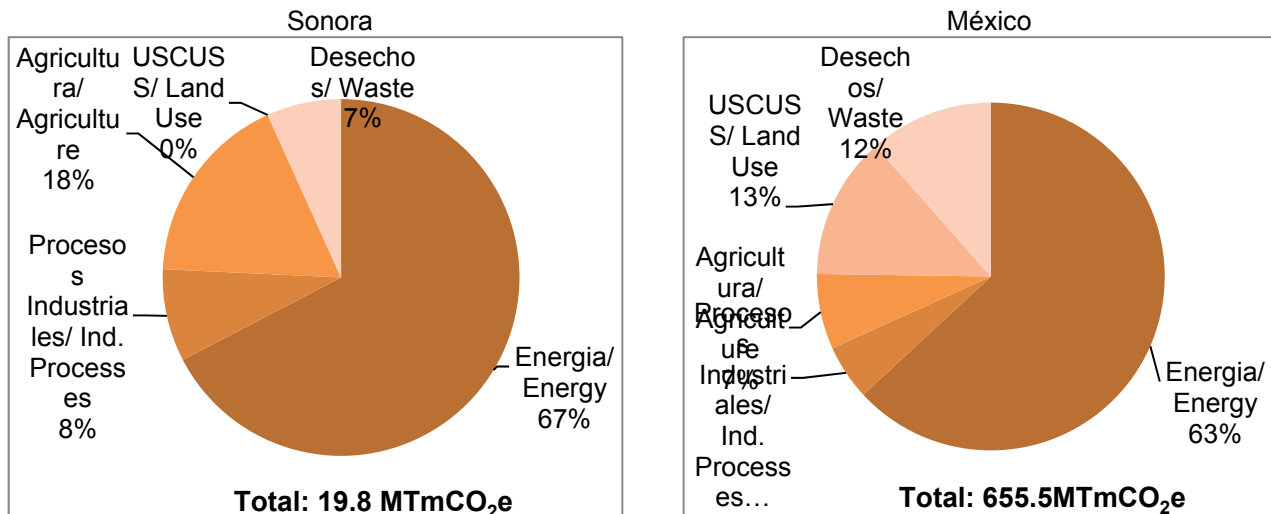


Figura 2. Emisiones brutas de GEI basadas en la producción en Sonora y México en el 2005, por sector

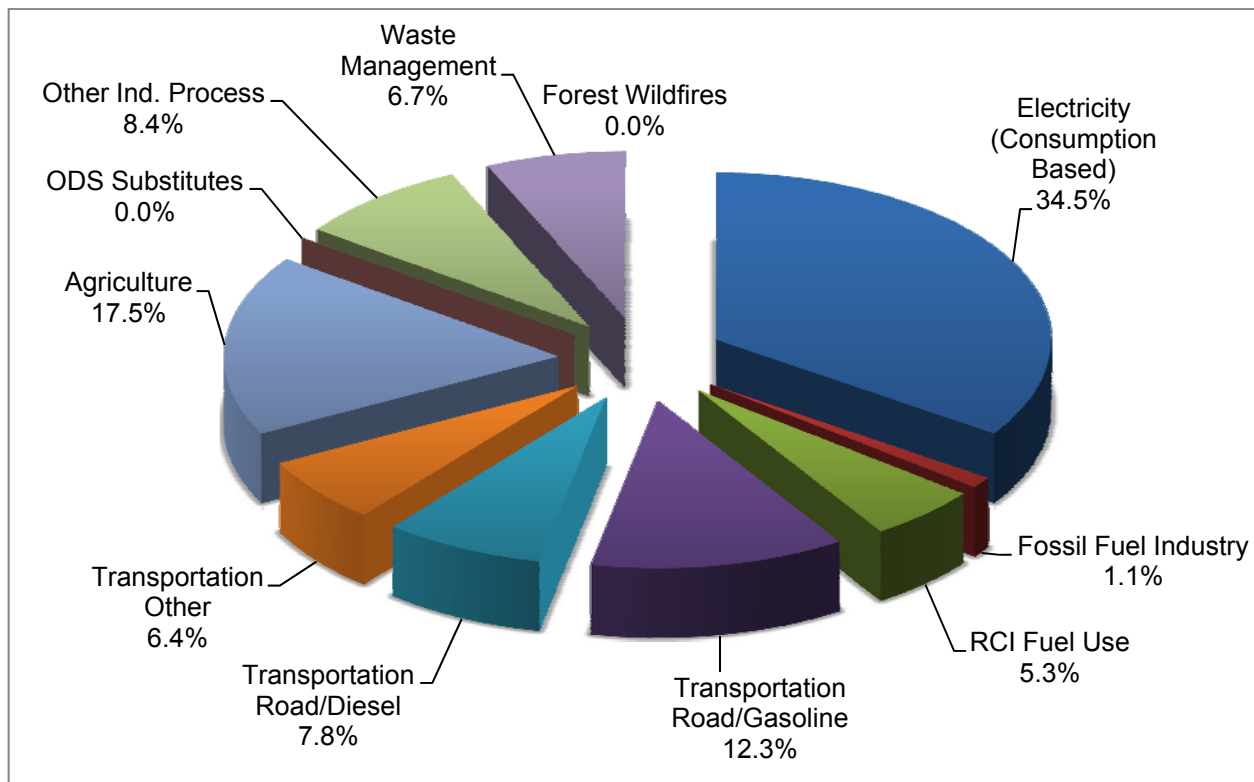


Este inventario y proyección de Sonora contiene algunos detalles adicionales, en comparación con el inventario nacional de México elaborado por el INE. En el Cuadro 2 se presenta la correspondencia entre los sectores generadores de GEI que considera Sonora y los del INE, mientras que en la Figura 3 se muestra la distribución de emisiones por sectores de actividad en Sonora en el año 2005.

Cuadro 2. Correspondencia entre los sectores generadores de GEI del INE y Sonora

INE	Sonora
Energía / Energy	Electricidad (basada en el consumo)
Energía / Energy	Industria de combustibles fósiles
Energía / Energy	Consumo de combustibles RCI
Energía / Energy	Transporte carretero/Gasolina
Energía / Energy	Transporte carretero/Diesel
Energía / Energy	Aviación
Agricultura / Agriculture	Agricultura
Procesos Industriales / Ind. Processes	Sustitutos de SACO
Procesos Industriales / Ind. Processes	Otros procesos industriales
Desechos / Waste	Gestión de desechos
USCUSS / Land Use	Forestales y por uso de suelo (emisiones netas)

Figura 3. Emisiones brutas de GEI basadas en el consumo en Sonora por sector, 2005



Un Análisis Minucioso de las Tres Fuentes Principales: los Sectores de Suministro Eléctrico, Transporte, y Agricultura

Sector de Suministro Eléctrico

Existen cinco plantas generadoras de energía eléctrica en el Estado de Sonora. De éstas, las de mayor producción son Puerto Libertad en el municipio de Pitiquito, y Guaymas II en el municipio de Guaymas, las cuales en el 2004 generaron una cantidad total bruta de electricidad de 3,081 y 2,044 GWh respectivamente. Las dos plantas funcionan con unidades térmicas convencionales que queman aceite combustible.¹¹ El gas natural es la fuente de energía para la planta de Hermosillo, ubicada en la ciudad de Hermosillo, y la de Naco Nogales, en el municipio de Agua Prieta. Las plantas de Hermosillo y Naco Nogales generaron 1,253 y 1,717 GWh de electricidad bruta en el 2004, y funcionan con unidades de ciclo combinado. Una pequeña parte de la electricidad se genera en la planta hidroeléctrica El Novillo, que se encuentra en el municipio de Sonoyta. La generación de electricidad bruta en El Novillo en el 2004 ascendió a 174 GWh. La cantidad de electricidad importada de las plantas generadoras de gas natural en los EE.UU. representó otros 6 GWh en el 2004.¹²

Con excepción de la planta hidroeléctrica de El Novillo, las plantas generadoras en Sonora queman alguna forma de combustible fósil para generar electricidad. En el 2004, la energía procedente del uso de aceite combustible representó el 73% del total de energía primaria que se usó, mientras que el resto correspondió a la combustión de gas natural. El consumo de combustibles fósiles para la generación de electricidad fue el responsable de la emisión de 6.5 MTmCO₂e de gases de efecto invernadero en el 2004, y se prevé que se incrementará a 12.2 MTmCO₂e para el 2020.

Se calculó que la fracción de consumo de electricidad relacionada con la importación de energía eléctrica en Sonora fue insignificante (0.1%). Dado que la electricidad importada es muy poca en comparación con la producción interna del estado, los valores de las emisiones basadas en la producción y las emisiones basadas en el consumo son iguales, con una aproximación a tres dígitos significativos. Cabe mencionar que el enfoque basado en el consumo puede reflejar mejor las emisiones (y las reducciones) relacionadas con actividades que se realizan en Sonora, especialmente con respecto al consumo de electricidad (y las mejoras a la eficiencia), y resulta particularmente útil a la hora de formular políticas. La literatura disponible indica que Sonora no ha sido un estado que exporte electricidad a otras entidades federativas o a los EE.UU.

Sector de Transporte

Las actividades de transporte constituyeron alrededor del 26% de las emisiones brutas de GEI en Sonora en el 2005 (alrededor de 5.2 MTmCO₂e). El sector se dividió en los siguientes seis subsectores: a) vehículos de carretera accionados por gasolina, b) vehículos de carretera accionados por diesel, c) embarcaciones marinas accionadas por diesel, d) aeronaves accionadas

¹¹ Prácticamente todo el aceite combustible proviene del combustóleo (aceite residual de petróleo). Los datos sobre actividades recabados por CEDES en la Comisión Federal de Electricidad sugieren que en las plantas generadoras se queman trazas de diesel en lugar de combustóleo, cuando no se dispone de este último para resolver todas las necesidades de energía.

¹² José Alberto Díaz Montaña, ed. *Prospectiva del Sector Eléctrico 2005-2014*. México: SENER, 2006 (50, 116).

por keroseno, e) el sector ferrocarril, y f) vehículos no especificados accionados por otros combustibles hidrocarburos.

En el 2005, las emisiones del transporte representaron un total de 5.2 MTmCO₂e, de los cuales el 46% fue producto de la combustión de gasolina en vehículos para carretera de uso ligero, el 29% de la combustión de diesel en vehículos para carretera de uso pesado, el 5% de la combustión de turbosina en aeroplanos, el 4% de la combustión de diesel en embarcaciones marinas, y el 3% de la combustión de diesel para ferrocarriles. El otro 13% de las emisiones se atribuyó a fuentes no especificadas que queman lubricantes y pequeñas cantidades de gas licuado de petróleo. Para el 2020 se prevé que las emisiones generadas por el transporte alcancen una cifra de 8.9 MTmCO₂e, de los cuales la combustión de gasolina en vehículos de carretera representa el 49%, la combustión de diesel en vehículos de uso pesado para carretera el 29%, la combustión de diesel en embarcaciones marinas el 9%, la combustión de turbosina en aeronaves el 3%, y la combustión de diesel para ferrocarriles el 3%. La parte que corresponde a fuentes no especificadas asciende al 7%.

Sector Agrícola

Las emisiones no combustibles de actividades relacionadas con la agricultura se reportan en el sector agrícola, el cual constituye el 17% de las emisiones brutas de GEI en el 2005. Esta cifra es considerablemente mayor que el promedio nacional de emisiones agrícolas en el mismo año (7%). Sin embargo, no es de sorprender, considerando la importancia que tiene el sector agrícola para la economía de Sonora.

Estas emisiones provienen principalmente de la fermentación entérica y los suelos agrícolas. La fermentación entérica es consecuencia de los procesos digestivos normales del ganado rumiante, que generan emisiones de metano. Los suelos agrícolas emiten óxido nitroso debido a la aplicación de fertilizantes comerciales nitrogenados y estiércol, al cultivo de especies fijadoras de nitrógeno, y a la descomposición de los rastrojos de los cultivos. Se prevé que las emisiones del sector agrícola se incrementen alrededor de un 24% del 2005 al 2020, y la mayor parte de este incremento se derivará de los suelos agrícolas y la fermentación entérica, con índices de crecimiento medio anual de 1.7% y 1.5%, respectivamente.

Algunas de las fuentes más pequeñas de emisiones de GEI en el sector agrícola son las emisiones de metano y óxido nitroso provenientes del estiércol y la quema de rastrojos. Un importante subsector sobre el cual no hubo datos disponibles para realizar la estimación de las emisiones netas de CO₂ es el referente a los cambios en la gestión de las tierras de cultivo, los cuales incluyen la conversión de terrenos anteriormente no utilizados para la agricultura a cultivos activos, el uso de sistemas agrícolas con poca o baja mecanización, la aplicación de estiércol, los programas de conservación mediante los cuales las tierras de labranza se mantienen permanentemente cubiertas, y otros métodos de gestión de las tierras agrícolas. Todos estos métodos pueden generar pérdidas/ganancias netas en el carbono de los suelos agrícolas, lo cual significa que el CO₂ se ha perdido directamente o ha sido indirectamente secuestrado de la atmósfera. En el Apéndice F se presentan otros detalles sobre el inventario y las proyecciones del sector agrícola.

Proyecciones del Caso de Referencia

Tomando como base diversas fuentes para las proyecciones, como se menciona posteriormente y en los apéndices, CCS y CEDES desarrollaron una sencilla proyección de casos de referencia de las emisiones de GEI hasta el 2020. Tal como se ilustra en la Figura 4 y se demuestra numéricamente en el Cuadro 1, según las proyecciones de los casos de referencia, las emisiones brutas de GEI en Sonora continúan aumentando constantemente, elevándose hasta unos 33.4 MTmCO₂e en el año 2020, un 127% por encima de los niveles de 1990. Lo anterior equivale a un índice de crecimiento anual de 2.8% para el periodo de 1990 hasta el 2020.

De 1990 al 2005, el mayor incremento en las emisiones ocurrió en los sectores de suministro eléctrico y el sector transporte, con un incremento del orden que llegó hasta 2.8 y 1.5 MTmCO₂e, respectivamente (suma de 3 subsectores para el transporte). Del 2005 al 2020, el mayor incremento en las emisiones se presentó en el sector de suministro eléctrico, con un incremento del orden de 5.4 MTmCO₂e, seguido por incrementos en el sector transporte, con 3.7 MTmCO₂e (suma de 3 subsectores), y el sector de procesos industriales, con 2.2 MTmCO₂e. En el Cuadro 3 se resumen los índices de crecimiento de los que se deriva el aumento indicado en las proyecciones de los casos de referencia, así como las fuentes de donde provienen estos datos.

La Figura 4 muestra las estimaciones del inventario y las proyecciones de los casos de referencia de todos los sectores. Las contribuciones por sector a las emisiones brutas de GEI aparecen en la Figura 5, en la cual se presentan además las estimaciones de las contribuciones al aumento en las emisiones brutas de GEI en el inventario (1990-2005) y la proyección de los casos de referencia (2005-2020).

Figura 4. Emisiones brutas de GEI basadas en el consumo en Sonora por sector, 1990-2020

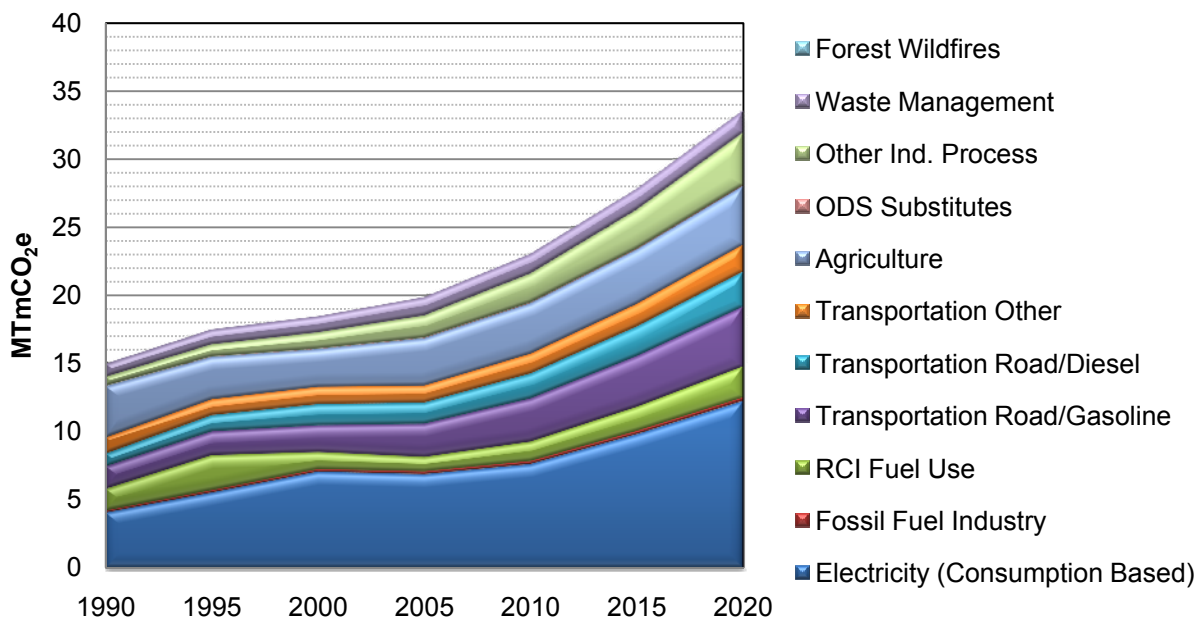
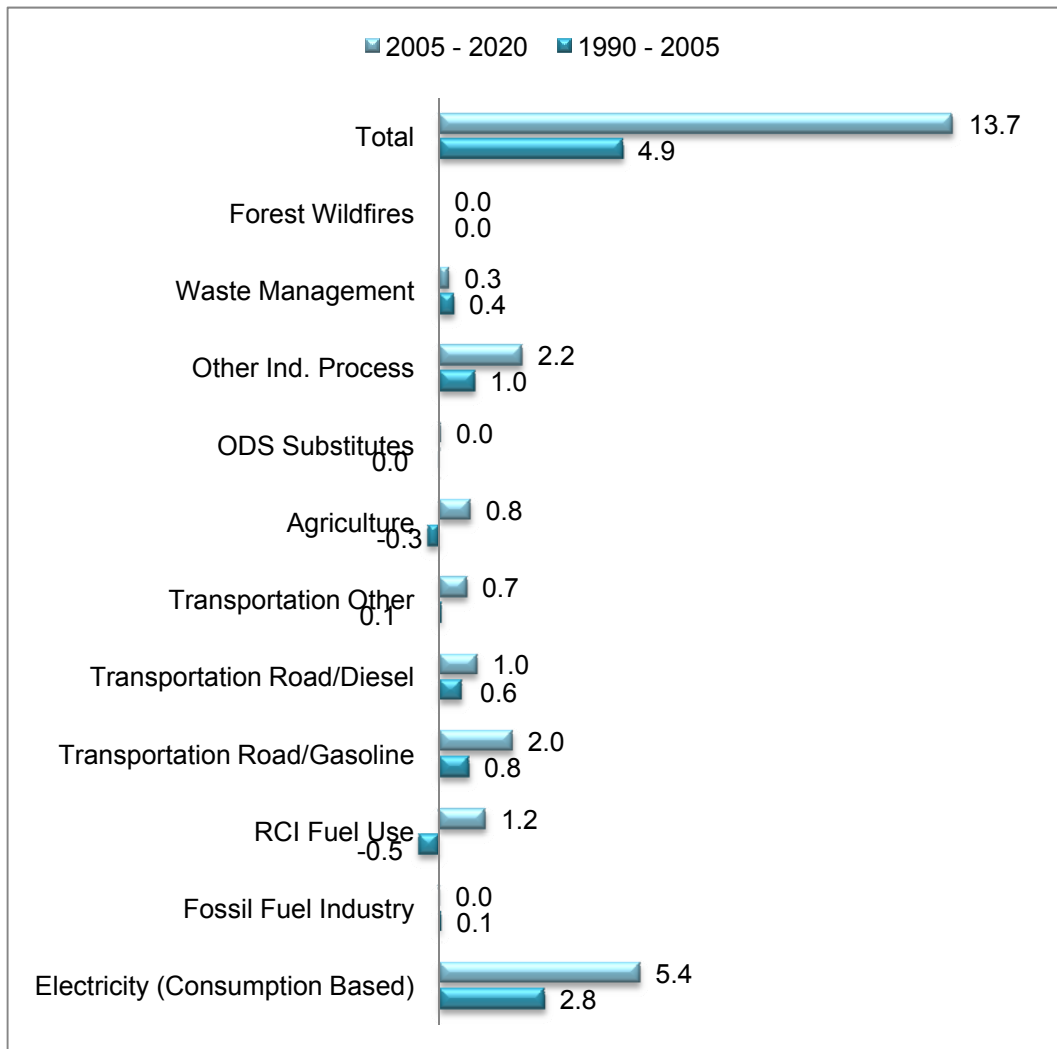


Figura 5. Contribuciones por sector al aumento en las emisiones brutas en Sonora, 1990-2020



RCI – consumo directo de combustible en sectores residenciales, comerciales e industriales. SACO – sustancia destructora del ozono (ODS por sus siglas en inglés). Las emisiones relacionadas con otros procesos industriales incluyen todas las industrias identificadas en el Apéndice D, con excepción de las emisiones relacionadas con los sustitutos de las SACO que se muestran por separado en esta gráfica.

Cuadro 3. Índices principales de crecimiento anual para Sonora, Históricos y Proyectados

Datos de actividad	Periodo	Índice anual medio (%)	Fuentes
Población	1990	2.60	José Luis Luege Tamargo. <i>México Tercera Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático</i> . México: INE-SEMARNAT, 2006
	1995	2.20	
	2000	1.90	
	2005	1.00	
	2010	0.88	
Demanda de electricidad	1994-2004	4.07	José Alberto Díaz Montaña, ed. <i>Prospectiva del Sector Eléctrico 2005-2014</i> . México: SENER, 2006 (50, 116)
	1996-2016	2.70	Verónica Irastorza Trejo ed. <i>Prospectiva del Mercado de Gas Natural 2007-2016</i> . México: SENER, 2007
Demanda de gas licuado de petróleo	1995-2015	1.69	José Alberto Díaz Montaña, ed. <i>Prospectiva del Mercado de Gas Licuado de Petróleo 2006-2015</i> . México: SENER, 2006
Gasolina	1990-2007	3.33	Secretaría de Energía de Sonora
Turbosina (keroseno)	1990-2006	0.52	Secretaría de Energía de Sonora
Explotación pesquera	1998-2002	9.57	Gobierno del Estado de Sonora, Anuario Estadístico, Anexo Estadístico VI Informe (1997-2003)
Registro de vehículos pesados	1990-2004	5.96	INEGI. Estadísticas de vehículos de motor registrados en circulación
Gasto en construcción	2000-2007	6.13	INEGI, Banco de Información Económica
Población pecuaria	1990-2004	0 - 0.04 ¹³	SIACON
Producción de cultivos	1990-2005	0 – 8.48 ¹⁴	SIACON

Incertidumbres Principales y Pasos Siguietes

Existen algunas lagunas de información en este inventario, particularmente con respecto a las proyecciones de los casos de referencia. Las tareas primordiales para resolver dichas lagunas consisten en analizar y actualizar la información sobre los generadores de emisiones, como la demanda de electricidad proveniente del combustible, la importación de energía eléctrica, y la electricidad de las plantas hidroeléctricas. Contar con información adicional sobre la segregación del consumo de diesel en el estado por modalidad de transporte (marino, ferroviario, carretero) y por años de inventario puede ayudar a reducir la incertidumbre en cuanto a las emisiones proyectadas. Los datos de actividad históricos relacionados con la producción de cemento, la producción de cal y el uso de piedra caliza, también podrían ayudar a reducir la incertidumbre asociada con las estimaciones de las proyecciones.

¹³ Índice de crecimiento medio anual para las especies animales consideradas en este proyecto.

¹⁴ Rango de valores del índice de crecimiento medio anual para los tipos de cultivo considerados en este informe.

Aún es necesario realizar más trabajo para: depurar las estimaciones sobre el secuestro de carbono de zonas arboladas; agregar las estimaciones sobre secuestro de carbono en zonas forestales; agregar el flujo neto de CO₂ en suelos agrícolas; y agregar el flujo de CO₂ relacionado con otros cambios en el uso de suelo (Ej. pérdidas/ganancias en superficies boscosas).

Los índices de crecimiento aplicados se rigen por tendencias económicas, demográficas y económicas inciertas (incluyendo los patrones de crecimiento y los impactos al sistema de transporte), que merecen un análisis y consideración más minuciosos. Dichas tendencias se mencionan en el Cuadro 3. En los apéndices por sector se presentan más detalles sobre las incertidumbres principales y los pasos a seguir que se sugieren para depurar las estimaciones planteadas en este informe.

Enfoque

La meta principal de la compilación de los inventarios y las proyecciones de los casos de referencia presentados en este documento es ayudar al Estado de Sonora a entender en forma general las emisiones de GEI históricas, actuales y proyectadas (previstas). En las siguientes secciones se explica la metodología general y los principios y pautas que se siguieron en el desarrollo de estas estimaciones sobre GEI en Sonora.

Metodología General

El equipo de CCS/CEDES elaboró este análisis en estrecha colaboración con las distintas dependencias del Estado de Sonora. La meta global de este esfuerzo era presentar estimaciones sencillas y claras, haciendo hincapié en su solidez, consistencia y transparencia. Por lo tanto, el equipo de CCS/CEDES se basó, en la medida posible, en proyecciones de referencia de las mejores fuentes estatales y regionales de las que se pudo disponer. Cuando se carecía de datos sobre proyecciones confiables, el equipo de CCS/CEDES recurrió al análisis sencillo de hojas de cálculo y extrapolaciones constantes de los índices de crecimiento de las tendencias históricas, en lugar de usar un complicado modelaje.

En la mayoría de los casos, el equipo de CCS/CEDES adoptó el mismo enfoque con respecto a la contabilización de emisiones para los inventarios históricos que usa la EPA en su inventario nacional de emisiones de GEI¹⁵ y en sus lineamientos para las entidades federativas.¹⁶ Estos lineamientos para los inventarios están fundamentados en las directrices del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC), el organismo internacional responsable del desarrollo de métodos coordinados para la realización de inventarios nacionales de GEI.¹⁷ Los métodos para el inventario ofrecen flexibilidad para dar cuenta de las condiciones locales. Las fuentes principales de datos sobre actividades y proyecciones se muestran en el Cuadro 4, en el cual también se incluyen las descripciones de los datos proporcionados por cada fuente y el uso que se le dio a cada juego de datos tomado en cuenta en este análisis.

¹⁵ US EPA, "Inventory Of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks: 1990-2005," Abril de 2007
<http://www.epa.gov/climatechange/emissions/usinventoryreport.html>.

¹⁶ <http://yosemite.epa.gov/oar/globalwarming.nsf/content/EmissionsStateInventoryGuidance.html>.

¹⁷ <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/invs1.htm>.

Principios y Lineamientos Generales

Una parte primordial de este esfuerzo tiene que ver con el establecimiento y el uso de principios contables generalmente aceptados para la evaluación de las emisiones históricas y proyectadas de GEI, como se señala a continuación:

- **Transparencia:** El equipo de CCS/CEDES reporta las fuentes de datos, los métodos y los supuestos clave con el fin de que se pueda realizar un análisis y se abran oportunidades para hacer modificaciones posteriormente, con base en las aportaciones de otras entidades. Asimismo, en caso de existir incertidumbres importantes, éstas se reportan en el informe.
- **Consistencia:** En la medida posible, el inventario y las proyecciones se diseñaron para que tuvieran consistencia externa con los sistemas estatales y nacionales actuales o futuros de presentación de informes sobre GEI. El equipo de CCS/CEDES tomó como punto de inicio las herramientas de la EPA para la realización de inventarios estatales y proyecciones. Estas estimaciones iniciales posteriormente se aumentaron y/o modificaron en caso necesario, para ajustarlas a los inventarios estatales y a las necesidades de las proyecciones de los casos de referencia. Con el propósito de lograr consistencia al hacer las proyecciones de los casos de referencia, el equipo de CCS/CEDES definió las acciones de los casos de referencia para fines de las proyecciones como *aquellas que actualmente se realizan o razonablemente se prevén durante el lapso del análisis*.
- **Prioridad a las fuentes de datos estatales y locales existentes:** Al recabar los datos, en caso de haber controversia entre las distintas fuentes, el equipo de CCS/CEDES le concedió mayor prioridad a los datos y análisis locales y estatales, y luego a las fuentes regionales, usando sólo en caso necesario los datos nacionales o supuestos simplificados, como la extrapolación lineal constante de las tendencias.
- **Prioridad a las fuentes de emisiones significativas:** En general, a las fuentes con niveles de emisiones relativamente bajos se les prestó menos atención que a las que generaron mayores contribuciones de GEI.
- **Cobertura integral de gases, sectores, actividades estatales, y periodos de tiempo:** El presente análisis tiene la intención de abordar ampliamente las emisiones/los sumideros de GEI relacionados con las actividades en Sonora, por lo cual comprende los seis GEI señalados en las directrices del IPCC y reportados en los inventarios nacionales: CO₂, CH₄, N₂O, SF₆, HFCs, y PFCs. Las estimaciones de los inventarios corresponden al año 1990, incluyéndose los años posteriores hasta la fecha más reciente (normalmente el 2002 o 2005) con proyecciones hasta el 2020.
- **Uso de estimaciones basadas en el consumo:** En la medida posible el equipo de CCS/CEDES calculó las emisiones generadas por las actividades que se realizan en Sonora. Por ejemplo, se reportaron las emisiones asociadas con la electricidad que se consume en Sonora. La explicación sobre el uso de este método es que éste refleja de manera más precisa el impacto de las estratégicas políticas basadas en datos estatales, como la eficiencia energética en las emisiones globales de GEI. Con él también se pueden resolver los problemas de doble contabilización y exclusión que existen en el

caso de emisiones múltiples. Este enfoque puede distar de la forma en que se compilan los inventarios, por ejemplo, cuando se basan en la producción estatal, en particular en el caso de la electricidad.

Como se mencionó anteriormente, el equipo de CCS/CEDES calculó las emisiones relacionadas con la electricidad *consumida* en Sonora, lo cual implica contabilizar las fuentes de electricidad que usan los organismos operadores de Sonora para satisfacer las demandas de sus usuarios. A medida que se depure posteriormente este análisis, se podría intentar también calcular otras emisiones sectoriales sobre la base del consumo, como por ejemplo contabilizar las emisiones derivadas del combustible que se usa en Sonora para el transporte, pero tomando en cuenta también las emisiones generadas por la extracción, el refinamiento y la distribución (algunas de las cuales se presentan fuera del estado). En este ejemplo, lo que se plantea puede implicar aventurarse en el terreno relativamente complejo del análisis de los ciclos de vida útil. En general, CCS recomienda considerar un enfoque basado en el consumo cuando éste mejore significativamente la estimación del impacto de las posibles estrategias de mitigación sobre las emisiones. Por ejemplo, en el sector de gestión de residuos sólidos, la reutilización, el reciclaje y la reducción en las fuentes pueden derivar en una reducción de las emisiones debido a la baja en los requerimientos de energía para la producción de material (como papel, cartón y aluminio), aunque no haya en el estado producción de esos materiales ni emisiones asociadas con la misma.

Los detalles sobre los métodos y las fuentes de datos que se usaron para elaborar los inventarios y proyecciones de cada sector se presentan en los siguientes apéndices:

- Apéndice A. Suministro y Consumo de Electricidad
- Apéndice B. Consumo de Combustible Residencial, Comercial e Industrial (RCI)
- Apéndice C. Consumo de Energía en el Transporte
- Apéndice D. Procesos Industriales
- Apéndice E. Industria de Combustibles Fósiles
- Apéndice F. Agricultura
- Apéndice G. Manejo de Residuos
- Apéndice H. Silvicultura y Uso de Suelo

Cuadro 4. Fuentes Principales de Datos y Comparación con los Métodos de Inventarios Nacionales

Sector	Fuentes Claves de Datos	Método	Comparación con el INEGI
Suministro y Consumo de Electricidad	SENER: sector a nivel estatal-basado en datos sobre consumo de electricidad; INEGI: datos sobre la generación de electricidad a nivel estatal	IPCC 2006, Método de Nivel 1 donde el consumo de combustible es multiplicado por los factores de emisión por defecto.	IPCC1996, Método de Nivel 1; datos sobre la producción nacional de electricidad de la SENER.
Quema de combustible en sectores Residencial, Comercial, e Industrial (RCI)	SENER: consumo de combustible a nivel estatal para los sectores RCI	IPCC 2006, Método Nivel 1 donde el consumo de combustible es multiplicado por los factores de emisión por defecto.	IPCC1996, Método Nivel 1; consumo de combustible a nivel nacional de la SENER.
Uso de Energía en el Transporte	SENER-Sonora: Consumo de energía en la forma de combustibles fósiles en el transporte. Anuario Estadístico de PEMEX, 2005: Consumo de combustible fósil para los sectores pertinentes de la economía.	IPCC 2006, Método Nivel 1 donde el consumo de combustible es multiplicado por los factores de emisión por defecto.	IPCC1996, Método Nivel 1; la SENER proporcionó datos sobre el consumo de combustible para todas las fuentes excepto aeronaves. IPCC1996, Método Nivel 2 para aviación basado en estadísticas de aterrizajes y despegues.
Procesos Industriales y Uso de Productos	SEMARNAT: Información sobre la producción de cemento, cal y piedra caliza en plantas manufactureras en el 2005. INEGI: registro de vehículos	EPA, Método SIT, donde los datos de actividad se multiplican por los factores de emisión promedio de la industria de EE.UU. IPCC: factor de emisión para emisiones fugitivas de HFC provenientes de unidades de aire acondicionado móviles.	IPCC1996, Método Nivel 1; con datos nacionales sobre la producción de cemento de la Cámara Nacional de Cemento y datos de extracción de minerales del Servicio Geológico Mexicano.
Industria de Combustibles Fósiles	CEDES: Datos de actividad asociados con la industria de combustibles fósiles	EPA, Método SIT, los datos de actividad se multiplican por los factores de emisión promedio de la industria de EE.UU.	IPCC1996, Método Nivel 1, donde los datos de la producción nacional de PEMEX se multiplican por los factores de emisión por defecto.

Sector	Fuentes Claves de Datos	Método	Comparación con el INEGI
Agricultura	SIACON: Registros sobre población pecuaria y producción de cultivos a nivel estatal International Fertilizer Organization: datos sobre la aplicación de fertilizantes	IPCC 2006, Método Nivel 1 y factores de emisión por defecto	Directrices del IPCC1996 y 2003 y datos nacionales de SAGARPA-SIACON Un número de factores de emisión fueron los actualizados con base en los estudios de campo realizados en México.
Manejo de Residuos	SNIARN: masa de residuos sólidos urbanos emplazados por entidad federativa CONAGUA: datos sobre el procesamiento de carnes rojas	IPCC 2006, Método Nivel 1 y factores de emisión por defecto	IPCC1996, Método Nivel 1 con datos nacionales de SEDESOL para la generación de residuos sólidos.
Silvicultura y Uso de Suelo	CONAFOR: Información sobre uso de suelo en todo el Estado de Sonora en el periodo 1999-2003 CEDES: evaluó los flujos de carbono con base en los mapas digitales nacionales (mapas de vegetación del INEGI, 1993, 2003). SEMARNAT: información sobre el aprovechamiento de la madera	IPCC 2006, Método Nivel 1 y factores de emisión por defecto	Métodos del IPCC 2003. El INE evaluó los flujos de carbono con base en los mapas digitales nacionales (mapas de vegetación del INEGI, 1993, 2003). La evaluación del INE contempla los flujos de carbono en categorías selectas de prácticas de uso de suelo y cambios en el uso del mismo.

[Esta página se dejó en blanco intencionalmente.]

Apéndice A. Suministro y Consumo de Electricidad

Descripción general

En este apéndice se describen las fuentes de datos, los principales supuestos y la metodología que se usó para desarrollar un inventario de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) del periodo 1990-2005 relacionadas con la generación de electricidad para satisfacer la demanda de energía eléctrica en Sonora. También se describen las fuentes de datos, los principales supuestos y la metodología utilizados para desarrollar un proyecciones de las emisiones de GEI en el periodo 2005-2020 relacionadas con la demanda de electricidad en el Estado. En el apéndice se abordan específicamente los siguientes temas:

- *Fuentes de datos:* En esta sección se presenta una descripción general de las fuentes de datos que se usaron para elaborar el inventario y proyección, incluyendo sitios web abiertos al público, en los cuales se puede obtener y verificar esta información.
- *Metodología para el inventario de gases de efecto invernadero:* En esta sección se presenta una descripción general del enfoque metodológico que se usó para desarrollar el inventario de GEI en Sonora correspondiente al sector de suministro eléctrico.
- *Metodología para proyección de gases de efecto invernadero – Casos de referencia:* En esta sección se presenta una descripción general del enfoque metodológico que se usó para desarrollar las proyecciones de casos de referencia sobre GEI en Sonora (proyección) correspondientes al sector de suministro eléctrico.
- *Resultados del inventario de gases de efecto invernadero:* En esta sección se presenta una descripción general de los resultados principales del inventario de GEI en Sonora correspondientes al sector de suministro eléctrico.
- *Resultados de la proyección de gases de efecto invernadero:* En esta sección se presenta una descripción general de los resultados principales de la proyección de GEI en Sonora correspondientes al sector de suministro eléctrico.

Fuentes de datos

Para el desarrollo del inventario y la proyección de emisiones de dióxido de carbono equivalente (CO₂e) en las plantas generadoras de Sonora, se consideraron varias fuentes distintas de información, de las cuales a continuación se presenta un resumen:

- *Contenido energético de los productos petrolíferos:* Esta información se obtuvo de la publicación de la Secretaría de Energía (SENER) titulada "Balance Nacional de Energía 2006", disponible en <http://www.sener.gob.mx/webSener/index.jsp>.
- *Ventas históricas y proyectadas de gas natural:* Esta información está disponible en la SENER, en una publicación titulada "Prospectiva del Mercado de Gas Natural 2007-2016" y puede consultarse directamente en <http://www.sener.gob.mx/webSener/index.jsp>. Este reporte provee datos históricos que datan de 1996 así como consumos proyectados de gas natural en el sector eléctrico hasta 2017.

- *Datos sobre generación de electricidad en el Estado.* Esta información está disponible en la SENER. La publicación titulada "Prospectiva del Sector Eléctrico 2005-2014" recaba datos sobre energía renovable, importaciones y exportaciones de electricidad, capacidad eficiente de las plantas existentes, y generación bruta total de electricidad con diversos tipos de tecnología y combustibles. Esta fuente provee datos históricos para el periodo de 1994 a 2004 y proyecciones para el periodo de 2005 a 2014. Se puede consultar directamente en <http://www.sener.gob.mx/webSener/index.jsp>.
- *Factores de emisión del dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), y óxido nitroso (N₂O).* En el caso de todos los combustibles, estos factores de emisión se basaron en los valores por defecto indicados en los Cuadros 2.2, 2.3, 2.4, 2.5, del Capítulo 2, Volumen 2 de las Directrices de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC). Esta información se puede consultar directamente en: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol2.html>.
- *Potenciales de calentamiento global.* Se basan en los valores propuestos en el Segundo Informe de Evaluación del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC). Esta información se puede consultar directamente en <http://www.ipcc.ch/ipccreports/assessments-reports.htm>.
- *Población de Sonora.* Las cifras sobre población fueron preparadas por CCS con base en los datos del censo disponibles en el Instituto Nacional de Geografía, Estadística, e Informática¹⁸ y la Tercera Comunicación Nacional ante la Convención de las Naciones Unidas.¹⁹
- *Volumen de consumo de combustibles fósiles:* La Comisión de Ecología y Desarrollo Sustentable (CEDES) del Estado de Sonora obtuvo de la Comisión Federal de Electricidad (CFE) datos sobre el consumo estatal de combustible para generación de energía en el periodo 1993-2012. La información se expresó como el volumen total de combustible consumido por tipo de combustible: gas natural, combustóleo y diesel. Aunque se consideró, esta fuente no se utilizó para calcular las emisiones provenientes de la quema de combustibles fósiles, dado que la información de SENER que se encontró en la *Prospectiva del Sector Eléctrico 2005-2014* planteaba información segregada más detallada sobre todo el sector de suministro eléctrico. En la Figura A-1 se presenta una comparación de los juegos de datos de la CFE y la SENER. Cabe mencionar que la asignación energética que da la CFE al diesel se combinó con la del combustóleo para fines de comparación con los datos de la SENER. Asimismo, la energía del diesel únicamente correspondió en promedio al 0.66% de la energía del aceite combustible (la suma de la energía del diesel y el combustóleo).

Metodología para el inventario de gases de efecto invernadero

Las Directrices del IPCC de 2006 plantean tres enfoques para calcular las emisiones derivadas de la quema de combustibles fósiles. Con base en la información disponible en el caso de Sonora, se seleccionó el enfoque del Nivel 1. Conforme a los datos del 2004, Sonora genera un 62% de su

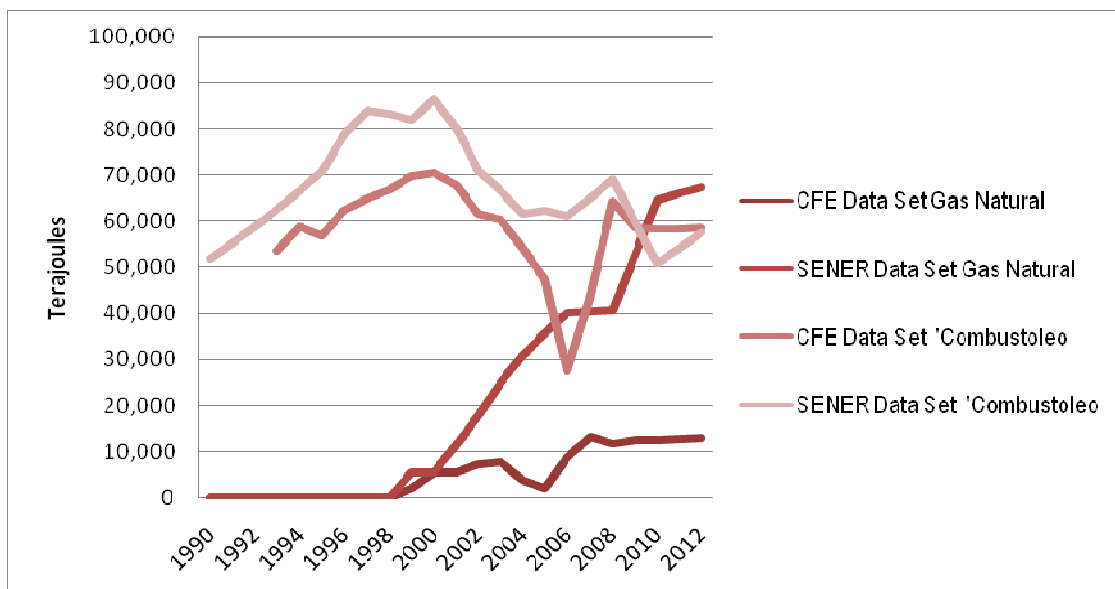
¹⁸ Consultado en mayo de 2008 en: <http://www.inegi.gob.mx/inegi/default.aspx>

¹⁹ Consultado en mayo de 2008 en: <http://maindb.unfccc.int/public/country.pl?country=MX>

electricidad usando combustóleo, 36% usando gas natural, y 2% con hidroelectricidad. Asimismo, Sonora importa una pequeña cantidad de electricidad (alrededor del 0.1%) y no exporta nada de energía eléctrica. En la sección de Resultados se presentan detalles adicionales al respecto.

En las Directrices del IPCC de 2006 se calculan las emisiones de GEI en términos de las especies que se emiten. Durante el proceso de combustión, la mayor parte del carbono se emite de inmediato como CO₂. Sin embargo, parte del carbono se emite en forma de monóxido de carbono (CO), metano (CH₄), o compuestos orgánicos volátiles distintos del metano (COVDM). La mayor parte del carbono que se emite en la forma de estas especies distintas al CO₂ finalmente se oxida y se convierte en CO₂ que se libera a la atmósfera. En el caso de la quema de combustibles, las emisiones de estos gases distintos al CO₂ contienen cantidades muy pequeñas de carbono comparadas con la estimación de CO₂ y en el Nivel 1, generalmente es más exacto basar la estimación del CO₂ en el carbono total del combustible, ya que este último depende únicamente del combustible, mientras que las emisiones de los gases distintos al CO₂ dependen de muchos factores, tales como las tecnologías de combustión, el mantenimiento del equipo, y otros que en general no son muy conocidos.

Figura A-1. Comparación entre los juegos de datos de la CFE y la SENER



El método del Nivel 1 se basa en el combustible, puesto que las emisiones de todas las fuentes de combustión se pueden calcular tomando como base las cantidades de combustible quemado y los factores de emisión promedio. Se dispone de los factores de emisión del Nivel 1 para todos los gases de efecto invernadero pertinentes. La calidad de estos factores de emisión difiere de un gas a otro. En el caso del CO₂, los factores de emisión dependen principalmente del contenido de carbono del combustible. Las condiciones de la combustión (eficacia, carbono retenido en la escoria y las cenizas, etc.) tienen poca importancia relativa. Por lo tanto, es posible estimar las emisiones de CO₂ con bastante exactitud, sobre la base del total de los combustibles quemados y del contenido de carbono promediado de los combustibles. Sin embargo, los factores de emisión del metano y el óxido nítrico dependen de la tecnología de combustión y de las condiciones del proceso y varían considerablemente, tanto entre las instalaciones individuales de combustión

como a través del tiempo. Debido a esta variabilidad, el uso de factores de emisión promediados para estos gases aporta incertidumbres bastante considerables.²⁰

En el enfoque utilizado para el inventario de las emisiones de CO₂e se le dio prioridad a los registros históricos disponibles. El mayor grupo de registros históricos fue el correspondiente a la generación de electricidad bruta en gigawatts-horas (GWh) en el Estado de Sonora de 1994 al 2004. En el segundo grupo más extenso de registros históricos se detallan las importaciones de electricidad en el mismo lapso de tiempo. La electricidad importada proviene de la combustión de gas natural en los EE.UU.²¹ En el último grupo de datos históricos se define la distribución de los productores de electricidad por tipo de combustible (combustóleo o gas natural) y tecnología (hidráulica, de ciclo combinado, o térmica) para el año 2004. Los valores de generación de electricidad del inventario se muestran en el Cuadro A-1, en donde los valores en letra negrita representan las cifras reales, mientras que los valores en letra regular son cifras calculadas como se describe a continuación:

- La generación total de electricidad en el Estado en el lapso de 1990 a 1993 se calculó usando el índice de crecimiento medio anual del coeficiente energético per cápita de Sonora.
- Se tomó como supuesto que la planta hidroeléctrica El Novillo generó energía eléctrica al mismo nivel que en el 2004.
- El volumen de gas natural dedicado a la industria energética se usó para calcular la producción de electricidad en GWh de la planta de Unión Fenosa en Hermosillo y la planta CCC de Naco Nogales en Agua Prieta. El volumen de gas natural se multiplicó por el contenido de energía del gas natural usando los valores netos de contenido energético publicados por la SENER en el Balance Nacional de Energía 2004.²²
- La producción de electricidad derivada de la quema de combustóleo en Puerto Libertad y Guaymas II se calculó como la diferencia entre la energía derivada de gas natural, fuentes hidráulicas y fuentes de importación, y la producción total de energía en Sonora.
- Los valores energéticos en GWh se convirtieron a valores de consumo de energía primaria en terajoules para usar valores de rendimiento térmico promedio para cada tipo de tecnología generadora de electricidad. En el Cuadro A-2 se presentan los valores de rendimiento térmico promedio que se usaron en este informe.²³
- Para calcular las emisiones de GEI se usaron los factores de emisión por defecto que se indican en el Cuadro A-3.

²⁰ Este párrafo, con algunas ediciones mínimas, se cita del Capítulo 1, Volumen 2 de las Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero, página 1.6. http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/2_Volume2/V2_1_Ch1_Introduction.pdf

²¹ Con base en las investigaciones realizadas por el Ing. Francisco Maytorena de CEDES, mayo de 2008.

²² Consultado en mayo de 2008 en: <http://www.sener.gob.mx/>

²³ Valores de rendimiento térmico del Cuadro 3.10. Límites inferiores y superiores aplicados a los datos sobre rendimiento térmico en NEEDS 2006. Consultados en junio de 2008 en <http://epa.gov/airmarkt/progsregs/epa-ipm/docs/Section-3.pdf>.

Cuadro A-1. Valores brutos de generación de electricidad del inventario en GWh

Año	Combustóleo	Gas natural	Importaciones	Hidroeléctrica	Total
1990	4,318	0	2	174	4,494
1991	4,595	0	2	174	4,771
1992	4,889	0	2	174	5,065
1993	5,201	0	2	174	5,377
1994	5,533	0	2	174	5,709
1995	5,884	0	3	174	6,061
1996	6,585	0	3	174	6,762
1997	7,000	0	3	174	7,177
1998	6,930	0	3	174	7,107
1999	6,823	517	4	174	7,518
2000	7,197	519	4	174	7,894
2001	6,675	1,103	4	174	7,956
2002	5,917	1,687	5	174	7,783
2003	5,528	2,382	5	174	8,089
2004	5,125	2,970	6	174	8,514

Cuadro elaborado por el CCS con datos de la CEDES

Cuadro A-2. Valores de rendimiento térmico promedio

Tecnología	Rendimiento térmico promedio	
	Btu/kWh	TJ/GWh
Vapor de aceite/gas	11,400	12.03
Gas natural en ciclo combinado	9,869	10.41

Cuadro elaborado por el CCS con datos de la EPA

Cuadro A-3. Factores de emisión seleccionados

Tipo de combustible	FE CO ₂ (kg/TJ)	FE N ₂ O (kg/TJ)	FE CH ₄ (kg/TJ)
Importación	56,100	0.1	1
Gas natural	56,100	0.1	1
Combustóleo	77,400	0.6	3

Estos factores de emisión se basaron en los valores por defecto del IPCC 2006.

Metodología para la proyección de gases de efecto invernadero – Casos de referencia

En la medida posible, para elaborar la proyección de los GEI se usaron cifras de proyecciones oficiales. Se intentó obtener la siguiente información: información detallada sobre ventas proyectadas específicamente en el estado, generación bruta en el estado, mejoras a la eficiencia en el suministro, ampliaciones y bajas de capacidad planeadas por tipo/categoría de planta, cambios en el transcurso del tiempo en las pérdidas asociadas con el uso *in situ*, la transmisión y la distribución. Sin embargo, aunque sí se encontró parte de esta información, algunos de los datos importantes no existían cuando se elaboró la proyección. Entre la información disponible se contó con datos sobre las ventas proyectadas y estimaciones brutas de la generación de electricidad en el estado. A continuación se describen los pasos metodológicos que se siguieron para proyectar las emisiones de CO₂e. La demanda de electricidad proyectada se muestra en el

Cuadro A-4, en el que los valores en letra negrita representan los valores de la proyección oficial de la SENER²⁴.

Demanda de electricidad. A continuación se presenta un breve resumen de la metodología aplicada para proyectar la demanda de electricidad:

- El consumo de energía de 1994 al 2004 se calculó como la cantidad de electricidad generada en el estado, más la cantidad importada. Se desarrolló un coeficiente energético per cápita para cada año a partir de estos valores, considerando la población de Sonora.
- Los valores de energía per cápita de 1994 al 2004 se usaron para calcular el índice de crecimiento medio anual, el cual a su vez se usó para aumentar el consumo energético de cada año en el periodo abordado por la proyección (2005 a 2020).
- El consumo de electricidad proyectado para cada año se calculó multiplicando por la proyección demográfica de Sonora.

Gas natural. A continuación se presenta una breve descripción de la metodología aplicada para proyectar el uso de gas natural en las centrales generadoras de energía de Sonora:

- SENER proporcionó cifras sobre las ventas de gas natural al sector energético proyectadas hasta el año 2016.
- El índice de crecimiento medio anual para el periodo de 1996 a 2016 (2.7%) se aplicó a todos los años subsiguientes. En general, el consumo de gas natural tuvo un marcado incremento durante los años considerados en el inventario.

Energía hidroeléctrica. A continuación se presenta una breve descripción de la metodología aplicada para proyectar la generación de energía hidroeléctrica en Sonora:

- Únicamente se pudo disponer de información sobre generación de energía hidroeléctrica del año 2004. En el caso de los años considerados en el inventario, se supuso que el índice de generación de electricidad fue igual al del 2004.
- Para la proyección se supuso que los valores aumentaron con el mismo índice medio anual que la demanda total de electricidad de los años 1994 a 2004 (4.1%), sin rebasar la capacidad de generación de energía de la planta.

Importación/Exportación. A continuación se presenta una breve descripción de la metodología aplicada para proyectar las importaciones y exportaciones de electricidad en Sonora:

- Se contó con información sobre la generación de electricidad para importación de los años 1994 a 2004; sin embargo, la literatura indica que Sonora no se considera aún un estado exportador de electricidad.²⁵
- Para el periodo de 2005 a 2020, se supuso que los valores proyectados de importación serían iguales a la demanda de electricidad que excediera la capacidad del estado. Sin embargo, la demanda de electricidad proyectada se satisfizo con la oferta nacional.

Combustóleo. A continuación se presenta una breve descripción de la metodología aplicada para proyectar el uso de combustóleo en las centrales generadoras de energía de Sonora:

²⁴ SENER. *Prospectiva del Mercado de Gas Natural 2007-2016*. 168

²⁵ SENER. *Prospectiva del Sector Eléctrico 2005-2014*. 50.

- Únicamente se contó con información del año 2004 acerca de la cantidad de combustóleo quemado para fines de generación de electricidad. Los valores para la proyección se definieron mediante un balance de energía; específicamente, se supuso que la energía proveniente del combustóleo fue igual a la demanda total de energía menos la energía suministrada por el gas natural, la energía hidroeléctrica, y la energía importada.

Cuadro A-4. Valores brutos proyectados sobre generación de energía en GWh

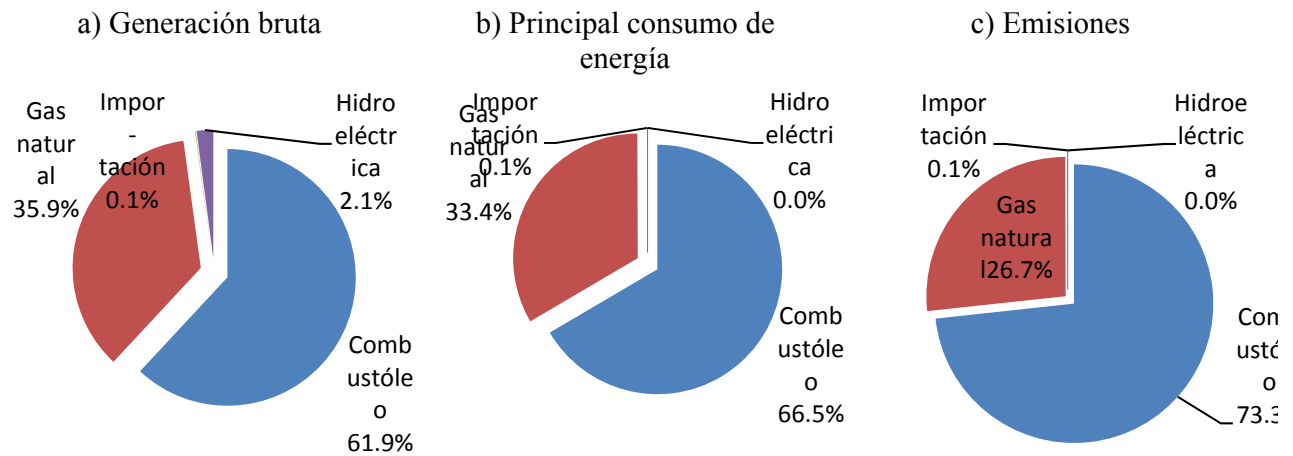
Año	Combustóleo	Gas Natural	Importación	Hidroeléctrica	Total
2005	5,177	3,421	0	181	8,779
2006	5,089	3,848	0	188	9,126
2007	5,422	3,868	0	196	9,486
2008	5,755	3,901	0	204	9,860
2009	4,985	5,052	0	212	10,249
2010	4,230	6,203	0	221	10,654
2011	4,500	6,331	0	230	11,061
2012	4,786	6,459	0	240	11,484
2013	5,291	6,382	0	249	11,923
2014	5,813	6,306	0	259	12,379
2015	6,873	5,709	0	270	12,852
2016	7,951	5,112	0	281	13,344
2017	8,312	5,250	0	293	13,854
2018	8,688	5,392	0	304	14,384
2019	9,080	5,537	0	317	14,933
2020	9,488	5,687	0	330	15,504

Cuadro elaborado por el CCS con datos de la SENER

Resultados

En el Cuadro A-5 y en la Figura A-2 se resumen las características del sistema de suministro eléctrico en Sonora. En esta información se incluye la generación total de electricidad por tipo de combustible, consumo total de energía, y emisiones de GEI asociadas correspondientes al año 2004. En las siguientes secciones se presentan el esquema general de los resultados del inventario de emisiones de GEI y las proyecciones de los casos de referencia estimadas usando el enfoque metodológico anteriormente descrito. La Figura A-3 sintetiza el panorama de la generación bruta de electricidad. El principal consumo de energía en Sonora corresponde predominantemente a la quema de combustóleo. La SENER proyecta que las plantas generadoras de energía que usan gas natural cada vez suministrarán más electricidad a la red energética y llegarán a su máximo nivel de producción en el 2012. La energía hidroeléctrica representa una pequeña fracción de la generación total bruta de energía eléctrica. En la Figura A-4 se presenta el consumo principal de energía. Finalmente, en la Figura A-5 se indican las emisiones de GEI por modo de generación.

Figura A-2. Resumen de las características de la generación de electricidad, 2004

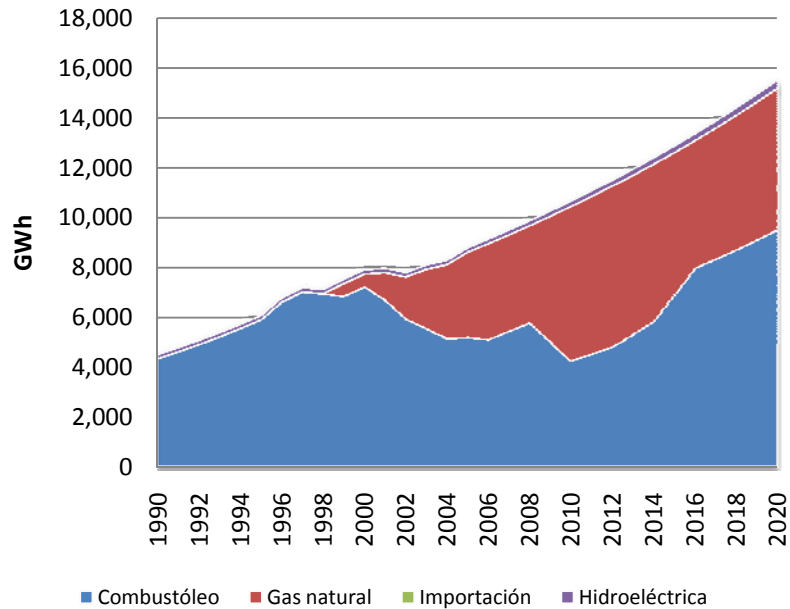


Cuadro A-5. Resumen de las características de la generación de electricidad, 2004

Combustible	Generación bruta de energía eléctrica	Principal consumo de energía	Emisiones
	GWh	Terajoules	MTmCO ₂ e
Combustóleo	5,125	61,642	4.77
Gas natural	2,970	30,925	1.73
Importación	6.0	62	0.00
Hidroeléctrica	174	0	0.00

Cuadro elaborado por el CCS con datos de la SENER

Figura A-3. Generación bruta de electricidad en Sonora

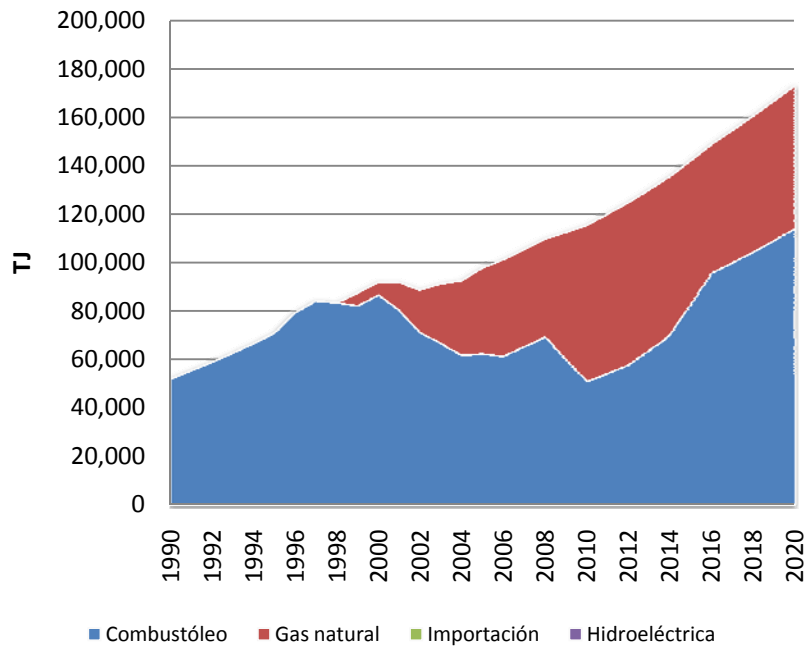


Cuadro A-6. Generación bruta de electricidad en Sonora en GWh

Año	Combustóleo	Gas natural	Importación	Hidroeléctrica
1990	4,318	0	2	174
1992	4,889	0	2	174
1994	5,533	0	2	174
1996	6,585	0	3	174
1998	6,930	0	3	174
2000	7,197	519	4	174
2002	5,917	1,687	5	174
2004	5,125	2,970	6	174
2006	5,089	3,848	0	188
2008	5,755	3,901	0	204
2010	4,230	6,203	0	221
2012	4,786	6,459	0	240
2014	5,813	6,306	0	259
2016	7,951	5,112	0	281
2018	8,688	5,392	0	304
2020	9,488	5,687	0	330

Cuadro elaborado por el CCS con datos de la SENER

Figura A-4. Principal consumo de energía

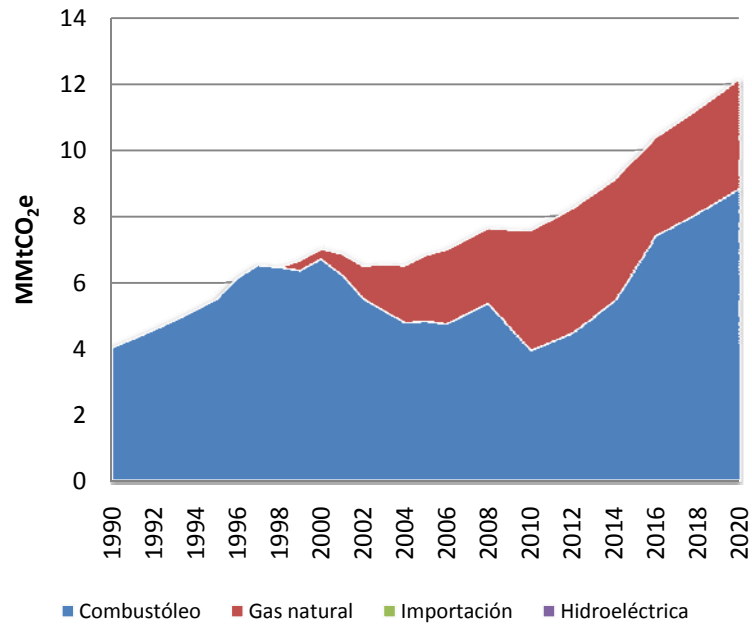


Cuadro A-7. Principal consumo de energía en terajoules

Año	Combustóleo	Gas natural	Importación	Hidroeléctrica
1990	51,934	0	21	0
1992	58,805	0	21	0
1994	66,549	0	21	0
1996	79,202	0	31	0
1998	83,352	0	31	0
2000	86,568	5,399	41	0
2002	71,164	17,569	51	0
2004	61,642	30,925	62	0
2006	61,210	40,066	0	0
2008	69,219	40,618	0	0
2010	50,876	64,584	0	0
2012	57,559	67,252	0	0
2014	69,923	65,660	0	0
2016	95,630	53,225	0	0
2018	104,491	56,138	0	0
2020	114,119	59,210	0	0

Cuadro elaborado por el CCS con datos de la SENER

Figura A-5. Emisiones totales de GEI asociadas con la demanda de electricidad



Cuadro A-8. Emisiones totales de GEI asociadas con la demanda de electricidad en MTmCO₂e

Año	Combustóleo	Gas natural	Importación	Hidroeléctrica
1990	4.020	0.000	0.001	0.000
1992	4.551	0.000	0.001	0.000
1994	5.151	0.000	0.001	0.000
1996	6.130	0.000	0.002	0.000
1998	6.451	0.000	0.002	0.000
2000	6.700	0.303	0.002	0.000
2002	5.508	0.986	0.003	0.000
2004	4.771	1.735	0.003	0.000
2006	4.738	2.248	0.000	0.000
2008	5.358	2.279	0.000	0.000
2010	3.938	3.623	0.000	0.000
2012	4.455	3.773	0.000	0.000
2014	5.412	3.684	0.000	0.000
2016	7.402	2.986	0.000	0.000
2018	8.088	3.149	0.000	0.000
2020	8.833	3.322	0.000	0.000

Cuadro elaborado por el CCS con datos de la SENER

Incertidumbres principales

Se usó un enfoque de Nivel I para calcular las emisiones de GEI del sector de suministro energético. Conforme a las Directrices de IPCC de 2006 IPCC, el método de Nivel I es el más idóneo cuando el sector energético no representa una fuente importante de emisiones.

Históricamente, la generación de electricidad constituye una tercera parte del total de emisiones de gases de efecto invernadero en el estado, por lo tanto, se recomienda adoptar y desarrollar métodos de Nivel II o Nivel III. Los métodos de Nivel III consisten en la medición de emisiones en las plantas generadoras de energía o en un modelaje de emisiones que coincida con las características estatales de consumo de combustible. El método de Nivel II consiste en medir las emisiones de cada tipo de combustible utilizado en el sector de generación de energía.

Los factores de emisión del metano y el óxido nitroso dependen de la tecnología de combustión, además de que las condiciones de operación difieren bastante entre una planta de combustión y otra, y van cambiando a través del tiempo. Debido a esta variabilidad, el uso de factores de emisión promediados para estos gases introduce incertidumbres relativamente considerables; sin embargo, estos gases distintos al CO₂ contribuyen relativamente poco a las emisiones totales de CO₂ equivalente de las unidades de combustión de las plantas generadoras.

Se necesita contar con mejor información para incrementar la exactitud de la proyección de las emisiones en este sector. Por ejemplo, es plausible que las plantas en las que se usa combustóleo que lleguen al final de su vida útil sean reemplazadas con tecnologías energéticas más limpias (Ej. unidades de gas natural) durante el periodo que comprende la proyección.

Finalmente, los cambios en el precio de los combustibles tienen incidencia sobre los niveles de consumo y, a medida que las tendencias en los precios de los distintos combustibles vayan variando, las plantas generadoras podrían cambiar de combustible, lo cual afectaría considerablemente las estimaciones sobre las emisiones proyectadas. Asimismo, podría haber sucesos imprevistos que afecten los precios del combustible y, por lo tanto, la proyección sobre la generación de electricidad en Sonora.

Apéndice B. Quema de Combustible Residencial, Comercial, e Industrial (RCI)

Descripción general

Las actividades en los sectores RCI²⁶ generan emisiones de CO₂, CH₄, y N₂O al quemar combustibles en calefacciones domésticas, calentadores de agua, procesos industriales, cocinas, y otras aplicaciones energéticas. En el 2005 las emisiones totales de GEI fueron del orden de 4.3 MTmCO₂e, de las cuales el 51% fueron emitidas por fuentes industriales y el 48% por fuentes residenciales. Aunque se cuantificó parte del consumo de energía correspondiente a fuentes comerciales y agrícolas, las emisiones provenientes de éstas fueron insignificantes en comparación con las emisiones de gases de efecto invernadero de fuentes industriales y residenciales.

Emisiones y proyecciones de los casos de referencia

Las Directrices del IPCC de 2006 plantean tres enfoques para calcular las emisiones derivadas de la quema de combustibles fósiles por fuentes estacionarias. Con base en la información disponible se seleccionó el enfoque del Nivel 1.

En las Directrices del IPCC de 2006 se calculan las emisiones de GEI en términos de las especies que se emiten. Durante el proceso de combustión, la mayor parte del carbono se emite de inmediato como CO₂. Sin embargo, parte del carbono se emite en forma de monóxido de carbono (CO), metano (CH₄), o compuestos orgánicos volátiles distintos del metano (COVDM). La mayor parte del carbono que se emite en la forma de estas especies distintas al CO₂ finalmente se oxida y se convierte en CO₂ que se libera a la atmósfera. En el caso de la quema de combustibles, las emisiones de estos gases distintos al CO₂ contienen cantidades muy pequeñas de carbono comparadas con la estimación de CO₂ y, en el Nivel 1, generalmente es más exacto basar la estimación del CO₂ en el carbono total del combustible, ya que este último depende únicamente del combustible, mientras que las emisiones de los gases distintos al CO₂ dependen de muchos factores, tales como las tecnologías de combustión, el mantenimiento del equipo, y otros que en general no son muy conocidos.

El método del Nivel 1 se basa en el combustible, puesto que las emisiones de todas las fuentes de combustión se pueden calcular tomando como base las cantidades de combustible quemado y los factores de emisión promedio. Se dispone de los factores de emisión del Nivel 1 para todos los gases de efecto invernadero pertinentes. La calidad de estos factores de emisión difiere de un gas a otro. En el caso del CO₂, los factores de emisión dependen principalmente del contenido de carbono del combustible. Las condiciones de la combustión (eficacia, carbono retenido en la escoria y las cenizas, etc.) tienen poca importancia relativa. Por lo tanto, es posible estimar las emisiones de CO₂ con bastante exactitud, sobre la base del total de los combustibles quemados y del contenido de carbono promediado de los combustibles. Sin embargo, los factores de emisión correspondientes al metano y el óxido nitroso dependen de la tecnología de combustión y de las

²⁶ El sector industrial incluye las emisiones relacionadas con el consumo energético en la agricultura y el gas natural que se usa como combustible para operaciones de extracción y como combustible en plantas de procesamiento. Las emisiones relacionadas con el uso de combustible en tuberías de transmisión se incluyen en el Apéndice E. combustible en gasoductos y oleoductos se incluyen en el Apéndice E.

condiciones del proceso, y varían considerablemente, tanto entre las instalaciones individuales de combustión como a través del tiempo. Debido a esta variabilidad, el uso de factores de emisión promediados para estos gases aporta incertidumbres bastante considerables.²⁷

Con el fin de plasmar la diferencia entre las emisiones de CH₄ y N₂O, los factores de emisión incluidos en las Directrices del IPCC de 2006 se indican en cuadros distintos, conforme a cuatro subsectores: 1) industrias energéticas, 2) industrias manufactureras y construcción, 3) comercial e institucional y, 4) residencial y agrícola/forestal/piscícola.²⁸ A continuación se presenta una breve descripción de los métodos y datos utilizados para desarrollar proyecciones con casos de referencia.

Diesel

El consumo de diesel en el sector RCI se definió como la diferencia entre el consumo total de energía diesel en el Estado de Sonora y el consumo de energía diesel en el sector transporte. Se seleccionó esta forma de abordar el balance energético debido a que se disponía de información sobre el consumo total de energía diesel facilitada por la Secretaría de Energía de Sonora²⁹ y de información sobre energía para el transporte aportada por Petróleos Mexicanos.³⁰ Asimismo, se supuso que el consumo de diesel dentro del sector RCI correspondía a aplicaciones industriales. Las cifras de las proyecciones se derivaron de los años del inventario. Históricamente, el consumo de diesel tuvo un marcado declive de 1996 al 2004. Únicamente hubo un aumento constante en el consumo de 1990 a 1998. Por lo tanto, los valores de la proyección se calcularon usando el índice de crecimiento medio anual (3.9) del periodo de 1990 a 1998.

Gas licuado de petróleo

El consumo estatal de gas licuado de petróleo (GLP) y el consumo proyectado se obtuvieron de la SENER.³¹ No se contó con información segregada sobre el consumo de combustible por subsector a nivel estatal. Por tal motivo, el consumo de GLP se dividió en subsectores de acuerdo a las estadísticas nacionales. Se contó con proyecciones oficiales de la SENER sobre el consumo de GLP hasta el año 2015. Para los demás años de la proyección, se supuso que el consumo total del estado aumentó en el periodo 1995-2015 conforme al índice de crecimiento medio anual de 1.2%, y la distribución por subsector permaneció igual a la del 2015. El Cuadro B-1 muestra la distribución del consumo nacional de GLP por subsector durante los años del inventario y de la proyección.

²⁷ Este párrafo, con algunas ediciones mínimas, se cita del Capítulo 1, Volumen 2 de las Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero, página 1.6. http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/2_Volume2/V2_1_Ch1_Introduction.pdf

²⁸ Los cuadros de los factores de emisión por defecto se encuentran en el Capítulo 2, Volumen 2 de las Directrices del IPCC de 2006 para Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero. <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.html>.

²⁹ A petición expresa, la Secretaría de Energía de Sonora proporcionó datos sobre la venta de hidrocarburos a la Comisión de Ecología y Desarrollo Sustentable (CEDES) del Estado de Sonora.

³⁰ En el Apéndice C, "Proyecciones del inventario y los casos de referencia" se presenta información detallada sobre las fuentes en el párrafo titulado "Metodología".

³¹ SENER: *Prospectiva del Mercado de Gas LP 2006-2015*. Se puede consultar directamente en <http://www.sener.gob.mx/webSener/index.jsp>.

Cuadro B-1. Distribución del consumo nacional de GLP

Subsector	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020
Residencial	78%	78%	65%	63%	61%	61%	61%
Comercial	13%	13%	14%	13%	14%	14%	14%
Industrial	6.9%	6.9%	9.4%	8.3%	8.1%	9.0%	9.0%
Agrícola	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%

Gas natural

Los datos sobre el consumo estatal de gas natural y el consumo proyectado se obtuvieron de la SENER.³² En el nivel estatal se contó con alguna información sobre el consumo de combustible segregada por subsector. Asimismo, se dispuso de proyecciones oficiales de la SENER sobre el consumo de gas natural hasta el año 2016. Para los demás años de la proyección, se supuso que el consumo total del estado aumentó en el periodo 1996-2016 conforme al índice de crecimiento anual medio de 2.7% y la distribución por subsector permaneció igual a la del año 2006. El Cuadro B-2 muestra la distribución parcial del consumo nacional de gas natural por subsector durante los años del inventario y de la proyección

Cuadro B-2. Distribución parcial del consumo de gas natural en Sonora

	1996	1998	2000	2002	2004	2006	2008	2010	2012	2014	2016
Industrial	87%	84%	43%	22%	13%	13%	12%	8.2%	8.3%	8.7%	11%
Residencial ³³	13%	16%	5.4%	2.6%	1.4%	1.0%	1.3%	1.0%	1.0%	1.1%	1.4%

Combustibles biosólidos: Leña

Los datos sobre el uso de leña en domicilios particulares se derivó de dos fuentes de información: Primero, el Censo 2000 de Población y Vivienda contiene un desglose del tipo de combustible que se usa en las viviendas para cocinar. Esta misma fuente se usó para determinar la porción de viviendas en las que se usan estufas de leña (5.0%) y la porción de viviendas con estufas de gas, ya sea GLP o gas natural (94%). La segunda fuente de información fue la SENER, que facilitó datos sobre el consumo residencial de gas combustible (ver los párrafos anteriores titulados *Gas licuado de petróleo* y *Gas natural*). Por lo tanto, el consumo de energía generado por leña se calculó como el producto del consumo residencial de gas combustible y la relación entre la porción de hogares en los que se usa leña para cocinar y aquellos en los que se cocina con gas.

Resultados

En el 2005, el consumo de energía en el sector RCI fue un total de 16,499 terajoules (TJ). En ese mismo año, el consumo residencial representó el 43% del consumo total de energía RCI, seguido por el consumo de gas natural en la industria (33%) y el consumo industrial de diesel (19%). El Cuadro B-3 muestra las cifras sobre el consumo energético.

³² SENER: "Prospectiva del Mercado de Gas Natural 2007-2016". Se puede consultar directamente en <http://www.sener.gob.mx/webSener/index.jsp>.

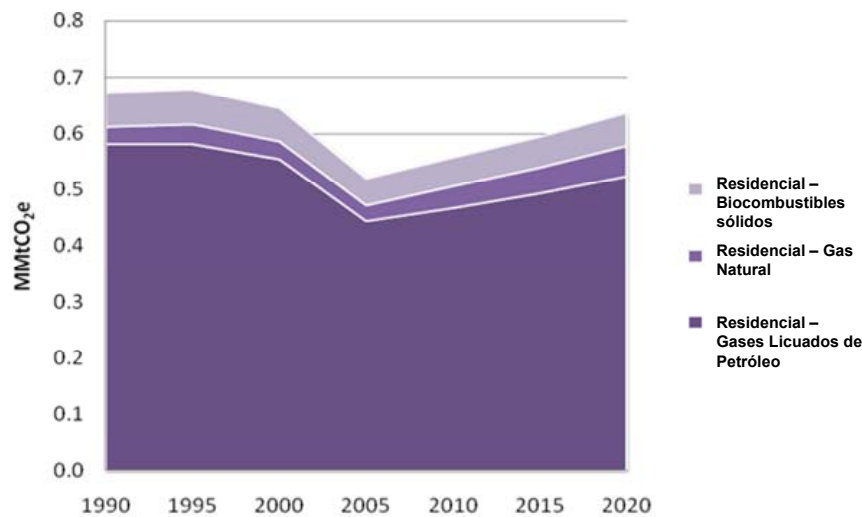
³³ Una fracción desconocida la constituye el consumo de gas natural por parte de usuarios comerciales.

Cuadro B-3. Energía utilizada en el sector RCI en TJ

Fuente	Tipo de combustible	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020
Ag. ³⁴	Gas licuado de petróleo	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Com.	Gas licuado de petróleo	0.10	0.10	0.09	0.08	0.08	0.08	0.08
Ind.	Gas/Aceite diesel	9,440	22,167	4,966	3,187	7,275	11,094	16,919
	Gas licuado de petróleo	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
	Gas natural	3,704	4,232	4,485	5,397	5,895	6,411	7,228
Res.	Gas licuado de petróleo	9,175	9,175	8,753	7,020	7,385	7,797	8,276
	Gas natural	550	628	566	497	688	818	957
	Biocombustibles sólidos: Leña	516	520	494	399	428	457	490

Las emisiones de fuentes residenciales se debieron a la combustión de gas licuado de petróleo, representando el 86% del total de las emisiones residenciales en el 2005. Las emisiones relacionadas con la combustión de leña y gas natural constituyeron el 96% y 5%, respectivamente. Las tendencias históricas y proyectadas sobre las emisiones de gases de efecto invernadero que proceden de fuentes residenciales se ilustran en la Figura B-1.

Figura B-1. Emisiones de GEI de fuentes residenciales

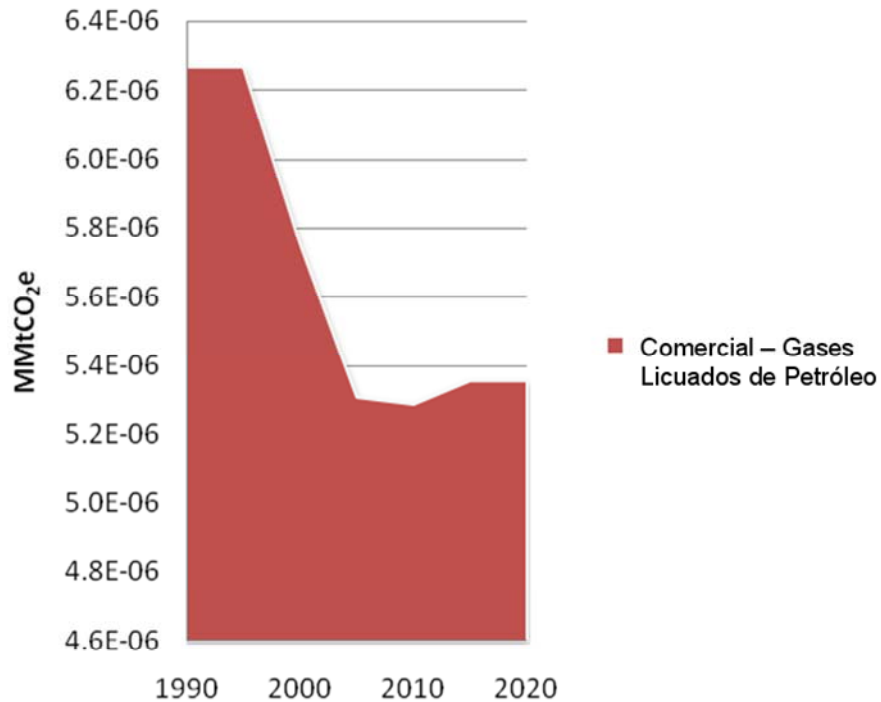


Se calculó que las emisiones de fuentes comerciales fueron insignificantes. En el 2005, las emisiones ascendieron a 5.3 toneladas de dióxido de carbono equivalente, debido a la combustión de gas licuado de petróleo (GLP). Lo anterior está relacionado con el uso de estufas para cocinar. Parecería lógico que los restaurantes usen cantidades considerables de GLP; de ser así, entonces se esperaría que las emisiones del sector comercial fueran más elevadas; sin embargo, es menester realizar más trabajo para poder desarrollar mejor el perfil de este sector.

³⁴ La energía usada en la agricultura es insignificante en unidades de terajulios por año.

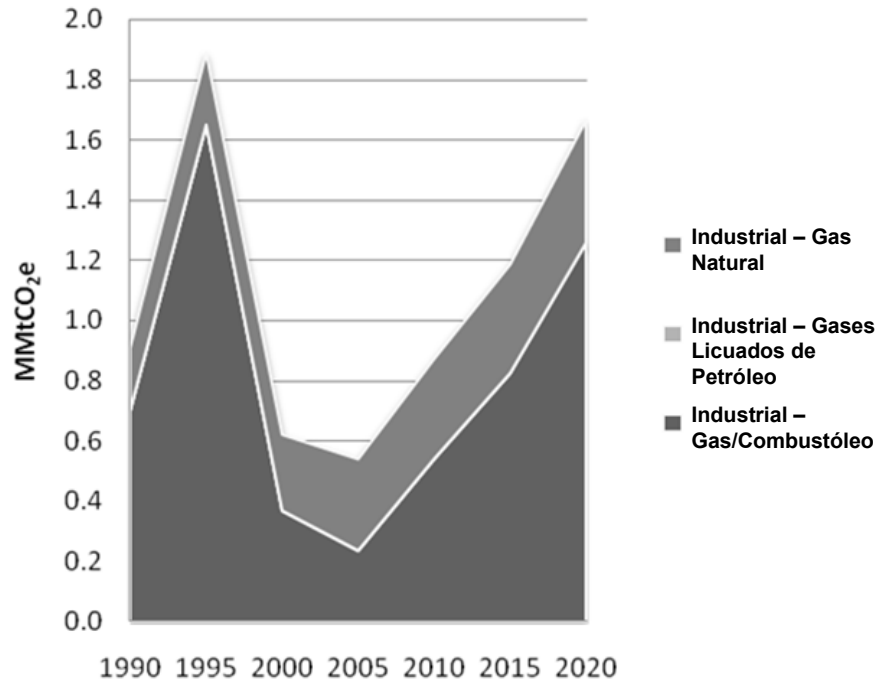
Las tendencias históricas y proyectadas sobre las emisiones de gases de efecto invernadero provenientes de fuentes comerciales se ilustran en la Figura B-2.

Figura B-2. Emisiones de GEI de fuentes comerciales



Las emisiones de fuentes industriales se derivaron de la combustión de gas natural, seguidas de las emisiones relacionadas con la combustión de aceite diesel. La contribución del gas licuado de petróleo al total de las emisiones fue insignificante. En la Figura B-3 se muestran las tendencias de las emisiones históricas y proyectadas de los gases de efecto invernadero de fuentes industriales.

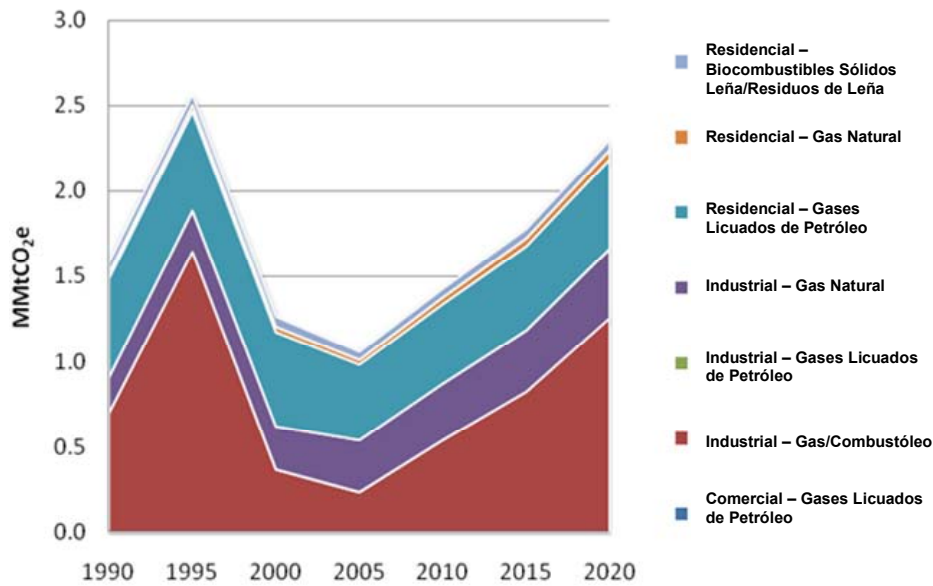
Figura B-3. Emisiones de GEI derivados de la quema de combustibles en el sector industrial



Muchas de las actividades del sector agrícola requieren del uso de combustibles, como el uso de tractores y maquinaria. Sin embargo, únicamente se contó con información segregada sobre el consumo de energía en el sector agrícola de una de las formas de combustible, es decir, del gas licuado de petróleo (GLP). Lo anterior no es representativo del consumo primario de energía en el sector agrícola ya que, de hecho, la energía predominante en este sector proviene del diesel con el que se accionan los tractores y la maquinaria pesada que se usan en las actividades agrícolas. El consumo de combustible diesel en los vehículos (tractores, camiones, etc.) se consigna en la sección de Transporte: Transporte carretero/Diesel (ver Apéndice C); el consumo de diesel en maquinaria agrícola se describe en la sección RCI; Sector industrial (Apéndice B). En el 2005, la combustión de GLP generó 0.2 toneladas de dióxido de carbono equivalente. Es necesario aún realizar más trabajo para poder desarrollar mejor el perfil de las emisiones relacionadas con la quema de combustibles en el sector agrícola.

Se proyecta que en el año 2020 las emisiones totales de gases de efecto invernadero provenientes de fuentes RCI serán de 2.3 millones de toneladas métricas de dióxido de carbono equivalente, de las cuales el 72% serán consecuencia de la quema de combustibles industriales, y casi el 28% de la quema de combustibles residenciales. Aunque las emisiones de fuentes comerciales y agrícolas son muy pequeñas en comparación con las emisiones de GEI de fuentes industriales y residenciales, existen motivos para creer que las primeras son mucho más elevadas, dado que los datos no reflejan el consumo de energía por fuente específica, especialmente el consumo de diesel. En general, las emisiones RCI se derivan de la combustión de diesel en la industria. La combustión de gas licuado de petróleo en entornos domésticos también constituye un aporte importante a las emisiones de gases de efecto invernadero en este sector. La Figura B-4 y los Cuadros B-4 y B-5 presentan el resumen del perfil de las emisiones de gases de efecto invernadero de todo el sector RCI.

Figura B-4. Emisiones de GEI en el sector RCI



Cuadro B-4. Emisiones de GEI en el sector RCI

Fuente	Tipo de combustible	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020
Comercial	Gas licuado de petróleo	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Industrial	Gas/Aceite diesel	0.70	1.65	0.37	0.24	0.54	0.82	1.26
	Gas licuado de petróleo	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Gas natural	0.21	0.24	0.25	0.30	0.33	0.36	0.41
Residencial	Gas licuado de petróleo	0.58	0.58	0.55	0.44	0.47	0.49	0.52
	Gas natural	0.03	0.04	0.03	0.03	0.04	0.05	0.05
	Biocombustibles sólidos: Leña/Residuos de leña	0.06	0.06	0.06	0.05	0.05	0.05	0.06
Total		1.73	1.58	2.56	1.27	1.06	1.43	1.78

Cuadro B-5. Distribución de emisiones de GEI en el sector RCI

Fuente	Tipo de combustible	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020
Comercial	Gas licuado de petróleo	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %
Industrial	Gas/Aceite diesel	44%	64%	29%	22%	38%	46%	55%
	Gas licuado de petróleo	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %
	Gas natural	13%	9.3 %	20%	29%	23%	20%	18%
Residencial	Gas licuado de petróleo	37%	23%	44%	42%	33%	28%	23%
	Gas natural	2.0 %	1.4 %	2.5 %	2.6 %	2.7 %	2.6 %	2.3 %
	Biocombustibles sólidos: Leña/Residuos de leña	3.9 %	2.4 %	4.7 %	4.5 %	3.6 %	3.1 %	2.5 %

Incertidumbres principales

No siempre se pudo disponer de datos de actividad RCI desagregados por estado, por combustible o por subsector. En la evaluación de las emisiones RCI se tuvieron que manejar varios supuestos durante el proceso de segregación de datos por actividad. La suposición más importante se refiere al consumo de combustible diesel en la industria. En uno de los juegos de datos facilitados por la SENER de Sonora, únicamente se mencionaba el consumo total de diesel en el estado. En un segundo juego de datos facilitados por PEMEX solamente se incluía el desglose del consumo de diesel en dos categorías según la fuente, a saber: transporte carretero y marino. A falta de un desglose del consumo de combustible diesel por categorías RCI, la diferencia entre los valores sobre el diesel de la SENER y de PEMEX se atribuyó al consumo de combustible diesel en la industria.³⁵ Aunque se podía justificar la designación del combustible diesel como industrial, ésta resultaba arbitraria, por lo cual deberán realizarse más trabajos para poder definir mejor las cifras sobre el consumo de este tipo de combustible.

Asimismo, el proceso de segregar el uso de energía de la combustión de gas licuado de petróleo (GLP) también introdujo algo de incertidumbre. Aunque se contaba con información del inventario y la proyección oficial sobre el consumo de energía de GLP, únicamente se tenía un desglose del consumo de energía en subsectores RCI a nivel nacional. En vista de las limitantes, los valores nacionales de la distribución de energía derivada del GLP se aplicaron a los datos sobre consumo de energía de GLP en el Estado de Sonora.

Otra de las incertidumbres se derivó del hecho de que la información sobre el consumo de gas natural en los subsectores residencial y comercial se combinó en un solo valor. Dado que la venta de gas natural a domicilios particulares está aumentando en Sonora³⁶, se supuso que todo el consumo de gas natural correspondía a usuarios de tipo residencial.

³⁵ La Secretaría de Energía de Sonora le proporcionó a la Comisión de Ecología y Desarrollo Sustentable del Estado de Sonora (CEDES) información sobre la venta de hidrocarburos. Las cifras de PEMEX las obtuvo CEDES del informe anual 2005 de la paraestatal.

³⁶ Con base en la estimación profesional del Ing. Francisco Maytorena de CEDES.

El consumo de energía generada con leña se calculó como el producto del consumo residencial de gas combustible y la relación entre la porción de hogares en los que se usa leña para cocinar y aquellos en los que se cocina con gas. El uso de datos de actividad sustitutos, así como el uso de una relación fija de la distribución por tipo de combustible, agregan considerable incertidumbre. Sin embargo, la contribución de la combustión de leña al total de emisiones de gases de efecto invernadero es muy pequeña (menos del 2%).

[Esta página se dejó en blanco intencionalmente.]

Apéndice C. Consumo de Energía en el Transporte

Descripción general

En este apéndice se presenta un resumen de las emisiones provenientes del consumo de energía relacionadas con las siguientes fuentes: transporte carretero, embarcaciones marinas, motores ferroviarios, y aviación. Los combustibles fósiles que queman estas fuentes producen dióxido de carbono, además de pequeñas cantidades de metano y óxido nitroso. El dióxido de carbono constituye más del 98% de las emisiones de gases de efecto invernadero, seguido de las emisiones de óxido nitroso (1.2%) y metano (0.7%).³⁷

Inventario y proyecciones de los casos de referencia

Metodología

Con base en la información disponible se calcularon las emisiones sobre la base del consumo de combustible. Según las Directrices de 2006 para Inventarios Nacionales de gases de efecto invernadero del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC), las emisiones se expresan como una función del consumo de energía y el índice de emisiones en términos de la masa de gases de efecto invernadero por unidad de energía. Dado que este método se usa para calcular las emisiones en términos de consumo de energía (Ej. julios), los datos sobre la venta de combustible fósiles se convirtieron de unidades de volumen a unidades de energía, según el contenido de energía de cada combustible. La información referente al contenido de energía se obtuvo de la Secretaría de Energía (SENER).³⁸ A continuación se expresa el método utilizado:

$$\text{Emisión} = \sum [\text{Combustible}_a \times FE_a]$$

En donde:

Emisión = Emisiones de gases de efecto invernadero en kilogramos (kg)

Combustible_a = combustible vendido en terajoules (TJ)

FE_a = factor de emisión (kg/TJ). Es igual al contenido de carbono del combustible, multiplicado por la relación de peso atómico entre el dióxido de carbono y el carbono (44/12)³⁹

a = tipo de combustible (Ej. petróleo, diesel, gas natural, gas L.P., etc.)

La información sobre consumo de combustible en cada año se obtuvo de Petróleos Mexicanos (PEMEX) y de la Secretaría de Energía de Sonora.⁴⁰ Debido a la limitada información sobre el consumo de energía en el transporte carretero diesel y en embarcaciones marinas, para el cálculo

³⁷ En millones de toneladas métricas de dióxido de carbono equivalente.

³⁸ Subsecretaría de Planeación Energética y Desarrollo Tecnológico, Dirección General de Información y Estudios Energéticos. *Balance Nacional de Energía 2006*. SENER 2007

³⁹ Los factores de emisión para fuentes de combustión móviles se encuentran en el Capítulo 3, Volumen 2 de las Directrices del IPCC de 2006 para Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero. <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.html>

⁴⁰ Sistema de Información Energética, con información de Petróleos Mexicanos.

se usaron datos sustitutos, junto con el consumo de energía por subsector en el 2005. Asimismo, para el consumo de diesel en el sector de ferrocarril, se aplicaron los datos nacionales a Sonora basados en la proporción de longitud de vías férreas en Sonora. En el Cuadro C-1 se indican todas las fuentes de transporte y sus correspondientes datos. Posteriormente se mencionan detalles adicionales sobre los métodos utilizados para calcular las emisiones por sector.

Cuadro C-1. Factores de actividad por modalidad de transporte

Fuente	Datos de actividad	Fuente
Transporte carretero - Gasolina	Estado de Sonora: consumo de combustible, 1990-2007	Secretaría de Energía de Sonora: Sistema de Información Energética, con información de Petróleos Mexicanos.
Transporte carretero – Diesel	Estado de Sonora: consumo de energía, 2005	Secretaría de Energía de Sonora: Sistema de Información Energética, con información de Petróleos Mexicanos.
	Estado de Sonora: registro de vehículos de uso pesado 1980-2006	INEGI. Estadísticas de vehículos de motor registrados en circulación. ⁴¹
Embarcaciones marinas	Estado de Sonora: consumo de energía, 2005	PEMEX. Anuario Estadístico ⁴²
	Estado de Sonora: toneladas de pesca en aguas abiertas	Estado de Sonora, Anexo Estadístico VI Informe (1997-2003) ⁴³
Aviación	Estado de Sonora: consumo de combustible, 1990-2007	Secretaría de Energía de Sonora: Sistema de Información Energética, con información de Petróleos Mexicanos.
Ferrocarril	Consumo nacional de combustible para trenes, 1990-2002	Instituto Nacional de Ecología: Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero 1990-2002 ⁴⁴
	Consumo nacional de combustible para trenes, 2003-2007	Secretaría de Energía: Prospectiva de Petrolíferos 2008 – 2017 ⁴⁵
	Longitud de vías férreas existentes para México y Sonora.	Secretaría de Comunicaciones y Transportes: Longitud de Vías Férreas Existentes Por Entidad Federativa Según Tipo de Vía ⁴⁶

⁴¹ <http://www.inegi.gob.mx/inegi/default.aspx>

⁴² Información recabada y proporcionada a CCS por el personal de la Comisión de Ecología y Desarrollo Sustentable (CEDES) del Estado de Sonora.

⁴³ <http://www.sonora.gob.mx/portal/Runscript.asp?p=ASP\pg134.asp>

⁴⁴ INE 2002. Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero 1990-2002. Disponible en: http://www.ine.gob.mx/descargas/cclimatico/mexico_nghgi_2002.pdf

⁴⁵ Secretaría de Energía. *Prospectiva de Petrolíferos 2008-2017*. SENER 2008. Disponible en: http://www.sener.gob.mx/webSener/res/PE_y_DT/pub/Prospectiva%20Pet%202008-2017.pdf

⁴⁶ Secretaría de Comunicaciones y Transportes: “Longitud De La Red Carretera Y Ferroviaria Por Mesoregión y Entidad Federativa” Disponible en:

http://Dgp.Sct.Gob.Mx/Fileadmin/User_Upload/Estadistica/Indicadores/Infra-Comytrans/IO5.Pdf

y “Distribución Porcentual De La Infraestructura De Transportes Y Comunicaciones Por Entidad Federativa Según Modo De Transporte Y Servicio De Comunicaciones”. Disponible en:

http://dgp.sct.gob.mx/fileadmin/user_upload/Estadistica/Indicadores/Infra-ComyTrans/IO4.pdf

Fuente	Datos de actividad	Fuente
Otra	Estado de Sonora: consumo de energía, 2005	PEMEX. Anuario Estadístico ⁴⁷

Las proyecciones de las emisiones de gases de efecto invernadero se calcularon sobre la base de los factores de crecimiento. Los registros históricos se usaron como base para calcular los índices de crecimiento medio anual. El lapso de tiempo que se seleccionó para calcular el índice de crecimiento medio anual de cada fuente fue distinto para cada una. En el Cuadro C-2 se indican los índices de crecimiento medio anual con comentarios para su ajuste.

Cuadro C-2. Índices de crecimiento medio anual

Fuente	2005-2010	2010-2015	2015-2020	Comentarios
Transporte carretero	4.6%	3.4%	3.4%	Basado en el índice de crecimiento medio anual del consumo de gasolina, de 1990 a 2007, y en el índice de crecimiento medio anual del consumo de diesel durante el lapso de 1990 a 2007.
Embarcaciones marinas	9.6%	9.6%	9.6%	Basado en el índice de crecimiento medio anual de la pesca en aguas abiertas de 1998 al 2002.
Aviación	2.7%	0.5%	0.5%	Basado en el índice de crecimiento medio anual del consumo de keroseno de 1900 al 2007.
Ferrocarril	3.1%	2.3%	1.3%	Basado en las proyecciones de consumo de diesel (ferrocarril y marítimo) para el periodo de 2007-2017 de <i>Prospectiva de Petrolíferos 2008-2017</i> de la SENER ⁴⁸
Otra	0.0%	0.0%	0.0%	Fuente no especificada. Por lo tanto, se supuso que el índice de crecimiento medio anual permaneció sin cambio.

Transporte carretero

El transporte carretero es una fuente considerable de emisiones de gases de efecto invernadero. En el 2005, las emisiones derivadas del transporte carretero representaron el 76% del total de gases de efecto invernadero emitidos por el sector transporte. Las emisiones de gases de efecto invernadero de la gasolina y el diesel fueron las responsables del 47% y el 29%, respectivamente, de las emisiones de dióxido de carbono equivalente asociadas con este sector. Únicamente se contó con información sobre el consumo de energía diesel en el transporte carretero correspondiente al año 2005. Por lo tanto, se adoptó el uso de datos sustitutos para extrapolar el consumo de energía antes y después del 2005. La selección de datos sustitutos se vio limitada por la disponibilidad de datos estadísticos específicos sobre el estado. Los registros de vehículos de uso pesado fueron el único tipo de información estadística disponible que se pudo relacionar más estrechamente con el consumo de energía diesel, suponiendo que la mayor parte de la energía diesel la consuman los camiones y vehículos pesados. El Cuadro C-1 contiene datos de actividad relacionados con el consumo de energía en el transporte carretero.

⁴⁷ Información recabada y proporcionada a CCS por el personal de la Comisión de Ecología y Desarrollo Sustentable (CEDES) del Estado de Sonora.

⁴⁸ Secretaría de Energía. *Prospectiva de Petrolíferos 2008-2017*. SENER 2008. Disponible en: http://www.sener.gob.mx/webSener/res/PE_y_DT/pub/Prospectiva%20Pet%202008-2017.pdf

Embarcaciones marinas

Únicamente se contó con información sobre el consumo de energía en embarcaciones marinas correspondiente el año 2005. Por lo tanto, se adoptó el uso de datos sustitutos para extrapolar el consumo de energía antes y después del 2005. La selección de datos sustitutos se vio limitada por la disponibilidad de datos estadísticos específicos sobre el estado. Los datos sobre producción pesquera fueron la única información estadística disponible que se pudo relacionar más estrechamente con el movimiento de embarcaciones marinas.⁴⁹ En el 2005, la actividad de las embarcaciones marinas constituyó el 4% del total de las emisiones de gases de efecto invernadero provenientes del transporte.

Aviación

En el Estado de Sonora se encuentran en funcionamiento cinco aeropuertos: General Ignacio Pesqueira, General José María Yáñez, Ciudad Obregón, Nogales, y Puerto Peñasco, los cuales atienden las necesidades de los usuarios privados, comerciales y gubernamentales, así como del transporte de bienes. En el 2002, estos aeropuertos prestaron servicio a 1,173,439 pasajeros con un total de 70,716 vuelos. La aviación es una importante fuente de emisiones de gases de efecto invernadero, ya que representó el 5% del total de las emisiones del transporte en el 2005. El Cuadro C-1 contiene datos de actividad relacionados con el consumo de energía en el transporte aéreo.

Vías ferroviarias

El consumo de diesel para ferrocarriles no estuvo disponible para Sonora; por lo tanto, el consumo para este combustible se estimó adjudicando los usos nacionales a nivel estatal. El consumo nacional para combustible ferroviario para el periodo de 1990-2002 se tomó del inventario nacional de GEI. Los valores de consumo se incrementaron de 2002 a 2007 utilizando los valores de consumo diario de diesel para ferrocarril de la *Prospectiva de Petrolíferos 2008-2017* de la SENER. El consumo nacional fue adjudicado a Sonora utilizando la proporción de líneas ferroviarias en Sonora. La actividad actual, como las miles de toneladas de carga ferroviaria proveería información más precisa; sin embargo, estos datos no están disponibles.

Otros

Este sector incluye la combustión de gas licuado de petróleo (GLP) y el uso de lubricantes. Aunque no hay certidumbre sobre el uso final de estos productos petrolíferos, las emisiones provenientes de la combustión de GLP y lubricantes se agregaron arbitrariamente al sector transporte para contabilizarlas en el informe final.

Resultados

Durante los años del inventario (1990 a 2005), el total de emisiones del transporte se incrementó en un 39%, alcanzando niveles de alrededor de 5.2 MTmCO₂e en el 2005. En 1990, las principales fuentes de emisiones de gases de efecto invernadero fueron las actividades relacionadas con la combustión de gasolina y diesel en el transporte carretero. La circulación de vehículos en carreteras por sí sola representó el 68% del total de las emisiones de GEI del transporte en 1990. El mayor crecimiento en el nivel de emisiones durante el lapso señalado correspondió a las embarcaciones marinas, con un índice de crecimiento medio anual de 4.4%,

⁴⁹ Anuario Estadístico 2003 Disponible en: <http://www.sonora.gob.mx/portal/Runscript.asp?p=ASP\pg168.asp>.

seguido del transporte carretero diesel con un 3.4% y del transporte carretero gasolina con un 2.7%

En el 2020, el total de emisiones del transporte será del orden de los 8.9 MTmCO₂e, lo cual representa un incremento de 167% en comparación con 1990. La mayoría de las emisiones de GEI provienen de las actividades relacionadas con la combustión de gasolina y diesel en el transporte carretero. Las emisiones de vehículos carreteros por sí solas constituirán el 78% del total de las emisiones. El mayor crecimiento en el nivel de emisiones durante el lapso señalado corresponderá a las embarcaciones marinas, con un índice de crecimiento medio anual de 6.9%, seguido del transporte carretero diesel con un 3.4% y del transporte carretero gasolina con un 3.3%.

En el Cuadro C-3 y en la Figura C-1 se presenta el resumen de la estimación de las emisiones de gases de efecto invernadero por fuente. La distribución de las emisiones de gases de efecto invernadero por fuente se presenta en el Cuadro C-4. Finalmente, en el Cuadro C-5 se incluyen los índices de crecimiento de las emisiones en ciertos intervalos seleccionados.

Cuadro C-3. Emisiones de GEI del transporte (MTmCO₂e)

Fuente	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020
Transporte Carretero – Gasolina	1.65	1.75	1.96	2.44	3.17	3.73	4.39
Transporte Carretero – Diesel	0.93	1.18	1.54	1.54	1.83	2.16	2.55
Embarcaciones marinas	0.11	0.11	0.17	0.20	0.32	0.50	0.79
Aviación	0.26	0.28	0.32	0.26	0.29	0.30	0.31
Ferrocarril	0.17	0.14	0.14	0.15	0.20	0.22	0.24
Otras	0.66	0.66	0.66	0.66	0.66	0.66	0.66
Total	3.77	4.12	4.79	5.25	6.46	7.57	8.94

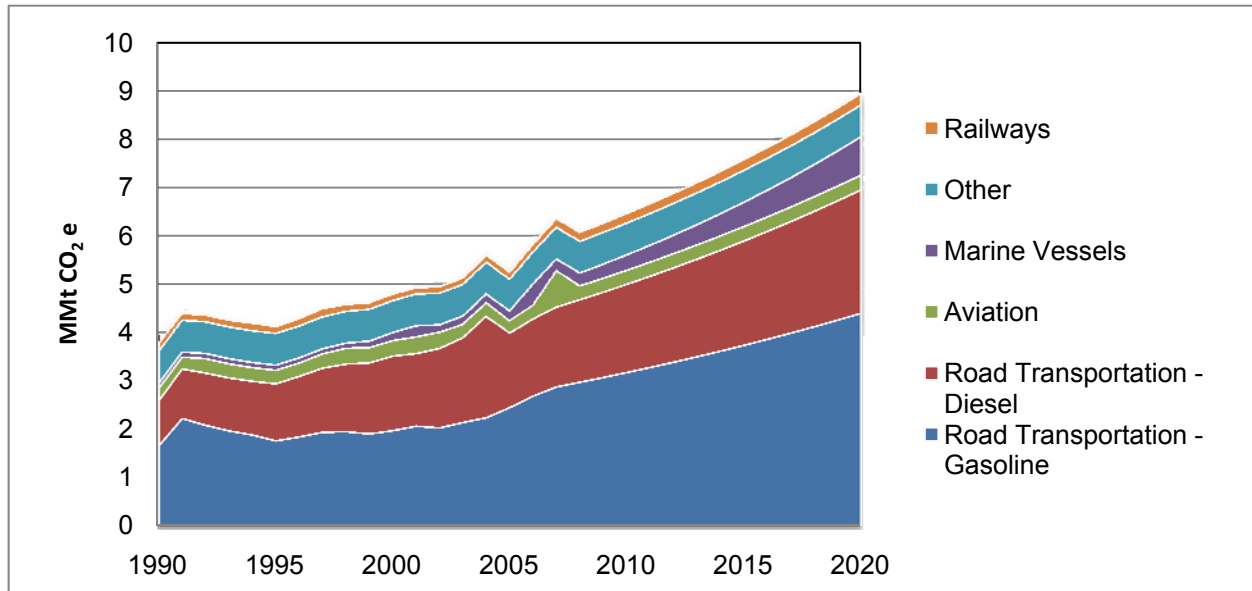
Cuadro C-4. Distribución de las emisiones de GEI del sector transporte

Fuente	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020
Transporte Carretero – Gasolina	43.6%	42.5%	41.0%	46.5%	49.0%	49.3%	49.1%
Transporte Carretero – Diesel	24.7%	28.7%	32.2%	29.4%	28.3%	28.5%	28.6%
Embarcaciones marinas	2.8%	2.6%	3.5%	3.8%	4.9%	6.7%	8.9%
Aviación	7.0%	6.8%	6.7%	4.9%	4.5%	3.9%	3.4%
Ferrocarril	4.4%	3.4%	2.9%	2.8%	3.1%	2.9%	2.7%
Otras	17.4%	16.0%	13.7%	12.5%	10.2%	8.7%	7.4%

Cuadro C-5. Porcentaje de cambio en las emisiones de GEI en intervalos seleccionados

Fuente	1990-2005	2005-2020	1990-2020
Transporte Carretero – Gasolina	48%	80%	167%
Transporte Carretero – Diesel	65%	65%	174%
Embarcaciones marinas	90%	294%	647%
Aviación	-3%	20%	16%
Ferrocarril	-11%	61%	43%
Otras	0%	0%	0%
Total	39%	70%	137%

Figura C-1. Emisiones brutas de GEI del transporte por combustible, 1990-2020



Incertidumbres principales

Según las Directrices del IPCC de 2006, la forma de datos que más conviene utilizar es el consumo de energía generada por combustibles.⁵⁰ Los consumos de combustible para ferrocarril no estuvieron disponibles y tuvieron que ser estimados con base en el consumo nacional. Las emisiones nacionales fueron asignadas a Sonora con base en la proporción del total de vías férreas al total nacional. Las estimaciones más precisas se generarían usando los cálculos de la actual actividad ferroviaria (Ej. Toneladas-kilómetros y/o pasajeros-kilómetros). Con base en las actuales estimaciones, la contribución del sector ferroviario es muy pequeña.

En la mayoría de los años del inventario, no se contó con datos sobre el consumo de energía de los subsectores de transporte carretero diesel y embarcaciones marinas. Para realizar el cálculo del inventario y de las proyecciones de los casos de referencia se usaron datos sustitutos, es decir, el registro de vehículos de uso pesado y las cifras sobre producción pesquera. La incertidumbre asociada con las estimaciones de emisiones históricas y proyectadas se puede reducir depurando con precisión la información histórica sobre energía de estos subsectores.

Petróleos Mexicanos reportó las ventas de lubricantes y gas LP junto con otros productos petrolíferos, como "Otra" energía usada en el sector transporte. Sin embargo, no existe información para determinar si los lubricantes y el GLP se usaron en el transporte o en otro sector energéticos, como los sectores Residencial, Comercial e Industrial (RCI). Dado que los

⁵⁰ Sección 3.2.1.3, Capítulo 3, Volumen 2 de las Directrices del IPCC de 2006 para Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero. <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.html>.

lubricantes y el GLP constituyeron el 8.4% del total de las emisiones de GEI del transporte en el 2005, se recomienda verificar el uso real que se le dio a estos productos petrolíferos.

Las estimaciones sobre la emisión de óxido nítrico y metano se basan en el consumo de combustible y el tipo de equipo de control instalado en el vehículo. Para incluir en el cálculo el efecto de la tecnología de control (Ej. catalizadores de oxidación) sobre las emisiones de gases de efecto invernadero, es necesario obtener un perfil del parque vehicular de Sonora en el que se identifique la proporción de vehículos que cuenta con equipo de control.

[Esta página se dejó en blanco intencionalmente.]

Apéndice D. Procesos Industriales y Uso de Productos

Descripción general

Las emisiones generadas por el sector de procesos industriales comprenden una amplia gama de actividades, y reflejan fuentes de emisiones de GEI que no proceden de la combustión. Los procesos industriales que existen en Sonora, cuyas emisiones se calculan en este inventario, son los siguientes:

- Dióxido de carbono procedente de:
 - Producción de cemento
 - Producción de cal
 - Uso de piedra caliza
 - Otras fuentes, incluyendo
 - Vinaterías
 - Cervecerías
 - Fabricación de aceites comestibles
 - Fabricación de alimento para animales
 - Ensamblaje
- Hidrofluorocarbonos procedentes de:
 - Aire acondicionado móvil
 - Refrigeración y aire acondicionado estacionario g

Los siguientes son otros procesos industriales que son también fuentes generadoras de GEI, pero que no se llevan a cabo en el Estado de Sonora:

- N₂O de la producción de ácido adípico
- PFCs de la producción de aluminio
- HFCs de la producción de hidroclorofluorocarbono-22 (HCFC-22)
- HFCs usados para la extinción de incendios y protección contra explosiones
- SF₆ de la producción y el procesamiento de magnesio
- HFCs, PFCs, y SF₆ de la fabricación de semiconductores
- CH₄ por producción de aluminio
- CH₄ por producción petroquímica y del negro de humo

Emisiones históricas y proyecciones de los casos de referencia

Las emisiones de GEI provenientes de las actividades de producción de cemento, cal y piedra caliza se calcularon usando el *software* denominado Herramienta para inventarios estatales de

gases de efecto invernadero (*State Greenhouse Gas Inventory Tool*, SIT) de la EPA, y los métodos señalados en el documento guía para este sector del Programa de Mejora de los Inventarios de Emisiones (*Emission Inventory Improvement Program* (EIIP)).⁵¹ El programa SIT calcula las emisiones como una función del contenido de clínker en la producción anual de cemento. En base de las estadísticas nacionales cubriendo el periodo 1994-2008, se determinó el contenido de clínker ponderado de los varios tipos de cemento y este se aplicó a la producción estatal de cemento. Para los años 1990-1993, se asumió el mismo contenido de clínker que la del año 1994; para los años de proyección se asumió el mismo contenido de clínker que la del año 2008. El Cuadro D-6 resume el análisis para la fracción de clínker ponderado. Finalmente, El valor de clínker se multiplicó por el factor de emisión por defecto del SIT de 0.507 toneladas de CO₂ por tonelada de clínker para obtener los valores de emisiones. Para convertir la producción de la cal y el uso de piedra caliza en emisiones, se aplicaron los factores de emisión SIT de 0.75 toneladas CO₂ por tonelada producida de cal, y 0.44 toneladas CO₂ por tonelada utilizada de caliza. CEDES proporcionó datos de actividad del año 2005.⁵² Para los demás años del inventario, la producción de cemento, la producción de cal y el uso de piedra caliza se calcularon usando datos sustitutos, en este caso, el gasto anual en construcción en el Estado de Sonora del 2000 al 2007.⁵³ El índice de crecimiento medio anual del periodo 2000-2007 (6.1%) en el gasto en construcción se aplicó a los años del inventario anteriores al 2000 y a los años proyectados después del 2007.

La información sobre emisiones de GEI de otras fuentes generadoras de dióxido de carbono se obtuvo directamente de los informes sobre emisiones de la industria ligera administrados por la CEDES. Las fuentes de emisiones en la industria ligera son las vinaterías, cervecerías, fábricas de aceites comestibles, fábricas de alimento para animales, y plantas de ensamblaje. Únicamente se contó con información sobre estas fuentes correspondiente al año 2005; por lo tanto, para calcular las emisiones antes y después del 2005 se usaron datos sustitutos. Se supuso que las cifras de población de Sonora eran directamente proporcionales a las emisiones de las cervecerías y fábricas de alimentos.⁵⁴ Se supuso que las cifras sobre la población ganadera total eran directamente proporcionales a las emisiones de las fuentes de fabricación de alimento para animales.⁵⁵ Finalmente, se supuso que las cifras sobre producción de uva eran directamente proporcionales a las emisiones provenientes de vinaterías.⁵⁶

⁵¹ Las emisiones de GEI se calcularon usando el programa SIT, refiriéndose al Volumen VIII, Capítulo 6 del EIIP. "Métodos para calcular las emisiones no energéticas de gases de efecto invernadero de los procesos industriales (*Methods for Estimating Non-Energy Greenhouse Gas Emissions from Industrial Processes*)", Agosto de 2004. En lo sucesivo denominado "EIIP".

⁵² CEDES obtuvo cifras sobre la producción de cemento de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), la cual expide los permisos ambientales para la industria pesada, incluyendo la producción de cemento.

⁵³ Consultado en mayo de 2008 en: Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), Banco de Información Económica at <http://dgcnesyp.inegi.gob.mx/cgi-win/bdieintsi.exe/NIVE100006#ARBOL?c=1414>

⁵⁴ CCS calculó la población de Sonora a partir de los datos oficiales del censo disponibles en el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) y correspondientes a los años 1995 al 2000 y 2005. También se obtuvo información adicional sobre población de la publicación de SEMARNAT titulada "Tercera Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas", 2006 (p. 14).

⁵⁵ En el Apéndice F se presenta una descripción detallada de los datos de actividad referentes a la población ganadera.

⁵⁶ En el Apéndice F se presenta una descripción detallada de los datos de actividad referentes a la producción agrícola. Aunque no se contó con detalles sobre las fuentes de vinaterías y cervecerías, CCS considera que algunas

Las emisiones de HFCs de los sistemas de aire acondicionado móviles se calcularon usando un enfoque desarrollado por el Estado de Baja California en su inventario de GEI 2005,⁵⁷ el cual consiste en basar las emisiones en el número de vehículos en circulación y suponer que todos los vehículos están equipados con unidades de aire acondicionado. Este enfoque difiere de la metodología descrita en la Sección 7.5.2, Capítulo 7, Volumen 3 de las Directrices de 2006 para Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC);⁵⁸ sin embargo, se adoptó por carecerse de mejores datos de actividad (Ej. información sobre la venta de HFCs). El número de unidades de aire acondicionado móviles se convirtió a emisiones usando un factor de emisión de 166 kg CO₂e por vehículo publicado por el IPCC en un informe técnico especial.⁵⁹

Asimismo, las emisiones de sustitutos de SACO provenientes de la refrigeración y el aire acondicionado estacionario se calcularon usando el enfoque adoptado por el inventario de GEI de Baja California, el cual consiste en basar las emisiones en el número y tamaño de los hogares conectados a la red de suministro eléctrico. Para el cálculo se supuso que todas las viviendas con electricidad tienen un refrigerador y una unidad estacionaria de aire acondicionado. Se supuso también que las viviendas de dos o más recámaras cuentan con dos unidades de aire acondicionado. Este enfoque difiere de la metodología descrita en la Sección 7.5.2, Capítulo 7, Volumen 3 de las Directrices de 2006 para Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC)⁶⁰; sin embargo, se adoptó por carecerse de mejores datos de actividad (Ej. información sobre la venta de HFCs). Además, en este enfoque se supone que el 10% de todas las unidades tienen fugas, y el 15% del refrigerante que descargan se compone de HCFC-22, siendo éste un hidroclorofluorocarbono que está sujeto a las disposiciones del Protocolo de Montreal y está exento de las consideraciones para los inventarios de GEI. Las emisiones asociadas con el HCFC-22 se incluyeron en este inventario para compararlas con las del inventario de GEI de Baja California; no obstante, no se incorporarán en el resumen de las emisiones de GEI estatales.

En el Cuadro D-1 se presenta el resumen del enfoque utilizado para calcular las emisiones del inventario. En el Cuadro D-2 se muestran los supuestos que se consideraron para calcular los valores de las emisiones de la proyección.

de éstas pudieran relacionarse con el dióxido de carbono biogénico emitido durante la fermentación. De ser así, deberán eliminarse cuando se depuren posteriormente el inventario y la proyección.

⁵⁷ *Inventario de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero del Estado de Baja California 2005: Versión Final Secretaría de Protección al Ambiente del gobierno del estado Baja California*, Centro Mario Molina, Diciembre, 2007, pp. 26-27.

⁵⁸ Consultado en mayo de 2008 en: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.html>

⁵⁹ IPCC/TEAP, Bert Metz, Lambert Kuijpers, Susan Solomon, Stephen O. Andersen, Ogunlade Davidson, José Pons, David de Jager, Tahl Kestin, Martin Manning, and Leo Meyer (Eds). *Safeguarding the Ozone Layer and the Global Climate System: Issues related to hydrofluorocarbons and perfluorocarbons*. Cambridge University Press: Cambridge, England. 2005 (p. 306) http://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/sroc/sroc_full.pdf

⁶⁰ Consultado en mayo de 2008 en: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.html>



Cuadro D-1. Enfoque para calcular las emisiones del inventario

Categoría de fuente	Datos de actividad disponibles	Tipo de datos sustitutos disponibles	Fuente de datos disponible
Aire acondicionado móvil	Ninguno	Índice de descarga del refrigerante Registro vehicular	Centro Mario Molina. <i>Inventario de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero del Estado de Baja California 2005</i> INEGI. <i>Estadísticas de vehículos de motor registrados en circulación.</i> IPCC. <i>Safeguarding the Ozone Layer and the Global Climate System: Issues related to hydrofluorocarbons and perfluorocarbons</i>
Refrigeración y aire acondicionado estacionario	Ninguno	Población Viviendas con acceso a la red eléctrica Distribución de viviendas por número de habitaciones	Centro Mario Molina. <i>Inventario de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero del Estado de Baja California 2005</i> INEGI. <i>II Censo de Población y Vivienda 2005</i>
Fabricación de cemento	Producción de cemento en 2005	Gasto en la construcción en el Estado de Sonora	CEDES: Datos obtenidos de permisos ambientales gestionados ante SEMARNAT
Fabricación de cal	Producción de cal en 2005	Gasto en la construcción en el Estado de Sonora	CEDES: Datos obtenidos de permisos ambientales gestionados ante SEMARNAT
Uso de piedra caliza	Uso de piedra caliza en 2005	Gasto en la construcción en el Estado de Sonora	CEDES: Datos obtenidos de permisos ambientales gestionados ante SEMARNAT
Vinaterías	Emisiones de CO2 en 2005	Producción de uva	Sistema de Información Agropecuaria de Consulta (SIACON)
Cervecerías y fabricación de aceites comestibles	Emisiones de CO2 en 2005	Población estatal	CEDES: Datos obtenidos de permisos ambientales gestionados ante CEDES
Fabricación de alimento para animales	Emisiones de CO2 en 2005	Población estatal	CEDES: Datos obtenidos de permisos ambientales gestionados ante CEDES
Ensamblaje	Emisiones de CO2 en 2005	Ninguna (emisiones insignificantes)	CEDES: Datos obtenidos de permisos ambientales gestionados ante CEDES

Cuadro D-2. Enfoque para el cálculo de las proyecciones del 2005 al 2025

Categoría de la fuente	Supuestos en la proyección	Índice de crecimiento medio anual		
		2005 - 2010	2010 - 2015	2015 - 2020
Aire acondicionado móvil	Emisiones directamente proporcionales al número de vehículos expresado en los registros vehiculares de 1990 al 2005	5.5%	5.5%	5.5%
Fabricación de cemento	Emisiones directamente proporcionales a la demanda de cemento expresada en el gasto en la construcción del 2000 al 2007	5.7%	6.1%	6.1%
Fabricación de cal	Emisiones directamente proporcionales a la demanda de cemento expresada en el gasto en la construcción del 2000 al 2007	5.7%	6.1%	6.1%
Uso de piedra caliza	Emisiones directamente proporcionales a la demanda de cemento expresada en el gasto en la construcción del 2000 al 2007	5.7%	6.1%	6.1%
Refrigeración y aire acondicionado estacionario	Emisiones directamente proporcionales a las unidades de refrigeración y aire acondicionado expresadas en la fracción de la población que posee este tipo de unidades.	1.0%	0.9%	0.9%
Vinaterías	Emisiones directamente proporcionales a la producción vitivinícola expresada en las cifras de producción de uva de 1990 al 2005	0.5%	0.5%	0.5%
Cervecerías y fabricación de aceites comestibles	Emisiones directamente proporcionales a la demanda expresada en las cifras históricas y proyectadas de población de 1990 al 2020	0.9%	0.9%	0.9%
Fabricación de alimento para animales	Emisiones directamente proporcionales a la demanda expresada en cifras de población ganadera históricas y proyectadas de 1990 al 2020	1.4%	1.4%	1.4%
Ensamblaje	La cantidad de emisiones fue insignificante, por lo que se supuso que el crecimiento anual medio fue cero	0.0%	0.0%	0.0%

Resultados

En el 2005, las emisiones de GEI provenientes de procesos industriales sin combustión fueron del orden de 1.7 millones de toneladas métricas de dióxido de carbono equivalente (MTmCO₂e). La mayor fuente de emisiones fue por causa de la producción de cemento, seguida del consumo de la caliza..

Las proyecciones de las emisiones de procesos industriales sin combustión son del orden de 4.08 MTmCO₂e para el año 2020. La mayor fuente de emisiones es la producción de cemento, ya que se prevé que constituya el 84% del total de las emisiones para el año 2020. Se calcula que la parte de las emisiones provenientes del consumo de la caliza en el 2020 será de alrededor de un 7.3%.

En la Figura D-1 y en el Cuadro D-3 se presenta el resumen de las emisiones de GEI. La distribución de las emisiones en el sector de procesos industriales en los años seleccionados se muestra en el Cuadro D-4.

Cuadro D-3. Emisiones de GEI históricas y proyectadas de los procesos industriales
(MTmCO₂e)

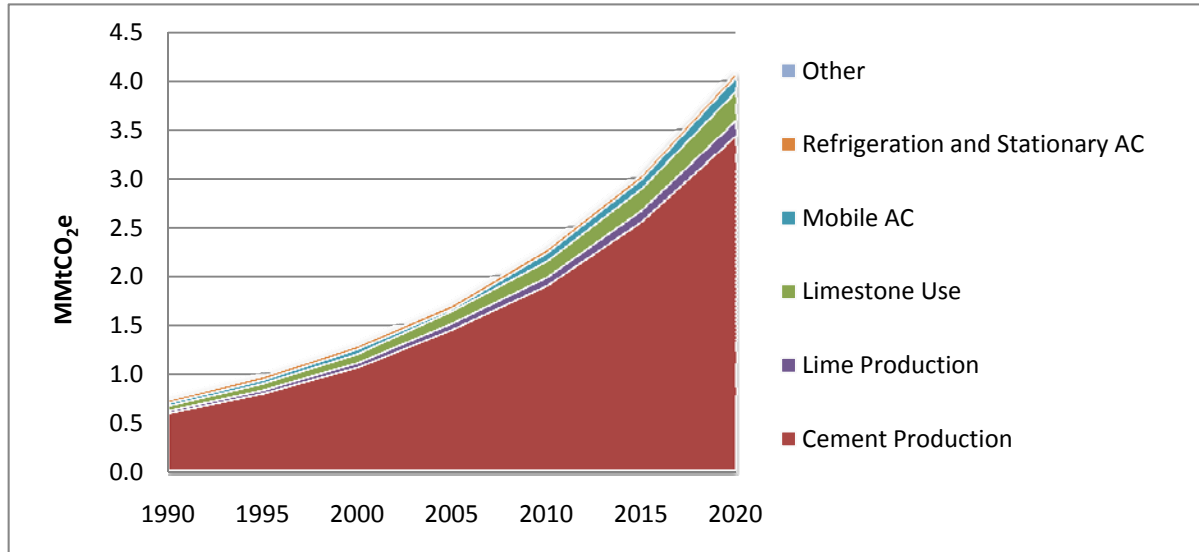
Fuente	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020
Producción de cemento	0.587	0.789	1.057	1.444	1.895	2.551	3.434
Producción de cal	0.026	0.035	0.048	0.066	0.087	0.117	0.157
Uso de piedra caliza	0.050	0.067	0.091	0.125	0.165	0.222	0.298
AC móvil	0.029	0.037	0.050	0.024	0.085	0.099	0.146
Refrigeración y AC estacionario	0.033	0.038	0.038	0.041	0.043	0.045	0.047
Otra*	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.002
Total	0.73	0.97	1.28	1.70	2.28	3.04	4.08

+ Emisiones por refrigeración y aire acondicionado se incluyen en este cuadro como suplemento. Estas no se contabilizan en el total de emisiones estatal porque HFCs no están sujetos a las reglas de contabilidad del Protocolo de Kioto,
*Suma de las emisiones de vinaterías, cervecías, plantas de ensamblaje, fabricas de alimentos para consumo humano y animal. El total de emisiones es insignificante.

Cuadro D-4. Distribución de emisiones de GEI de los procesos industriales

Distribución	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020
Producción de cemento	81%	82%	82%	85%	83%	84%	84%
Producción de cal	3.6%	3.7%	3.7%	3.9%	3.8%	3.8%	3.8%
Uso de piedra caliza	6.9%	7.0%	7.1%	7.3%	7.2%	7.3%	7.3%
AC móvil	4.0%	3.8%	3.9%	1.4%	3.8%	3.3%	3.6%
Refrigeración y AC estacionario	4.6%	3.9%	3.0%	2.4%	1.9%	1.5%	1.2%
Otra	0.2%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.0%	0.0%

Figura D-1. Emisiones de GEI de los procesos industriales, 1990-2020



Cuadro D-5. Contenido Ponderado de Clinker en la Producción Nacional de Cemento

Año	Volumen de producción nacional por tipo de cemento en toneladas					Contenido ponderado de clinker
	Portland Gris (96% clinker)	Blanco (28.8% clinker)	Mortero (64% clinker)	Otro (64.4% clinker)	Clinker (100% clinker)	
1994	30,243,326	516,684	720,232	113,625	220,619	94.1%
1995	24,033,981	441,975	645,663	173,169	793,455	94.0%
1996	26,440,746	466,440	1,140,024	127,125	1,447,276	93.8%
1997	27,679,233	530,803	1,316,355	158,327	1,073,967	93.4%
1998	28,608,786	568,795	1,549,994	187,670	592,846	93.1%
1999	29,738,734	642,632	1,420,243	156,321		93.1%
2000	31,518,759	613,075	1,096,005	201,128		93.5%
2001	30,177,359	636,394	1,319,868			93.3%
2002	30,897,412	623,680	1,850,420			93.0%
2003	31,143,454	632,386	1,817,561			93.0%
2004	32,374,824	680,380	1,937,238			92.9%
2005	34,571,534	773,499	2,106,583			92.8%
2006	37,180,967	843,869	2,337,166			92.7%
2007	37,757,921	864,999	2,590,337			92.6%
2008	36,608,126	823,449	2,679,457			92.5%

Elaborado por CCS con valores para clinker del 2006 IPCC y datos de INEGI, Encuesta Industrial Mensual (EIM).

Incertidumbres principales

En el método adoptado para realizar el cálculo de las emisiones de GEI provenientes de sistemas de aire acondicionado móviles existe considerable incertidumbre. Las emisiones se calcularon conforme al enfoque descrito en el inventario de GEI de 2005 del Estado de Baja California.⁶¹ Aunque este enfoque difiere de la metodología descrita en las Directrices del IPCC de 2006 para Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero, permitió que se cuantificaran las emisiones de los sustitutos de SACO. Según las Directrices del IPCC de 2006, se pueden obtener estimaciones más precisas recabando información de los fabricantes e importadores de equipo sobre la carga total del equipo que fabrican o importan. Como alternativa, se puede realizar un cálculo con información facilitada por los fabricantes e importadores de sustancias químicas sobre sus ventas a los fabricantes y distribuidores de equipo. Además, se puede usar la suma de la información sobre las ventas para dar seguimiento de forma más precisa a las fuentes de emisiones, conforme al Cuadro 7.1, Capítulo 7, Volumen 3 de las Directrices del IPCC de 2006. En la Figura D-2 se muestra una imagen del Cuadro 7.1.

Asimismo, existe mucha incertidumbre en cuanto a las emisiones de los sustitutos de SACO de la refrigeración y los aires acondicionados. Estas emisiones se calcularon usando el enfoque adoptado en el inventario de GEI de Baja California, el cual consiste en basar las emisiones en el número y tamaño de los hogares conectados a la red de suministro eléctrico. En el cálculo se supuso que todas las viviendas con electricidad tienen un refrigerador y una unidad estacionaria de aire acondicionado. Se supuso también que las viviendas de dos o más recámaras cuentan con dos unidades de aire acondicionado. Este enfoque no solamente se fundamenta en supuestos muy generales sobre un gas de efecto invernadero que no está contemplado en el Protocolo de Kioto, sino que también difiere de la metodología descrita en la Sección 7.5.2, Capítulo 7, Volumen 3 de las Directrices de 2006 para Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC)⁶². Según las Directrices del IPCC de 2006, se pueden obtener estimaciones más precisas recabando información de los fabricantes e importadores de equipo sobre la carga total del equipo que fabrican o importan. Como alternativa, se puede realizar un cálculo con información de los fabricantes e importadores de sustancias químicas sobre sus ventas a los fabricantes y distribuidores de equipo. Además, se puede usar la suma de la información sobre las ventas para dar seguimiento de forma más precisa a las fuentes de emisiones, conforme al Cuadro 7.1, Capítulo 7, Volumen 3 de las Directrices del IPCC de 2006. En la Figura D-2 se muestra una imagen del Cuadro 7.1.

A la incertidumbre se agrega además el uso de datos sustitutos para complementar los datos de actividad de cada una de las fuentes del sector de procesos industriales. Es recomendable elaborar los inventarios de emisiones de gases de efecto invernadero con datos de actividad histórica. En el caso de Sonora, la realización de trabajos posteriores podría arrojar otros datos históricos; sin embargo, durante la etapa de recopilación de información de este proyecto este tipo de datos no estaban disponibles.

⁶¹ Estado de Sonora. *Inventario de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero del Estado de Baja California 2005: Versión Final Secretaría de Protección al Ambiente del gobierno del estado Baja California*. Centro Mario Molina. Diciembre, 2007 (26-27)

⁶² Consultado en mayo de 2008 en: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.html>

Figura D-2. Listado del IPCC de fuentes potenciales de HFCs

Cuadro 7.1							
Principales Áreas de Aplicación para HFCs y PFCs como Sustitutos de ODS¹							
Compuesto Químico	Refrigeración y Aire Acondicionado	Supresión de Incendios y Protección contra Explosiones	Aerosoles		Limpieza de Solventes	Limpieza con Espuma	Otras Aplicaciones
			Propulsores	Solventes			
HFC-23	X	X					
HFC-32	X						
HFC-125	X	X					
HFC-134a	X	X	X			X	X
HFC-143a	X						
HFC-152a	X		X			X	
HFC-227ea	X	X	X			X	X
HFC-236fa	X	X					
HFC-245fa				X		X	
HFC-365mfc				X	X	X	
HFC-43-10mee				X	X		
PFC-14 ³ (CF ₄)		X					
PFC-116(C ₂ F ₆)							X
PFC-218(C ₃ F ₈)							
PFC-31-10(C ₄ F ₁₀)		X					
PFC-51-14 ⁴ (C ₆ F ₁₄)							

¹Varias aplicaciones utilizan HFCs y PFC como componentes de mezclas. Los otros componentes de estas mezclas son algunas veces SACO y/o gases sin efecto de invernadero. Varios HFCs, PFCs y mezclas son vendidos bajo varios nombres comerciales; solamente las designaciones genéricas son utilizadas en este capítulo.

²Otras aplicaciones incluyen equipo de esterilización, aplicaciones de expansión de tabaco, chips electrónicos grabados por plasma (PFC-116) y como solventes en la manufactura de revestimientos adhesivos y tintas (Kroeze, 1995; U.S. EPA, 1992a).

³PFC14 (químicamente CF₄) es utilizado como componente menor de una mezcla patentada. Su uso principal es para el grabado de semiconductores.

⁴PFC-51-14 es un material inerte con poca o ninguna capacidad para disolver suelos. Puede ser utilizado como portador para otros solventes o para disolver o depositar lubricantes de controladores de disco. Los PFCs también son utilizados para examinar que los componentes sellados se encuentren herméticamente sellados.

[Esta página se dejó en blanco intencionalmente.]

Apéndice E. Industrias de Combustibles Fósiles

Descripción general

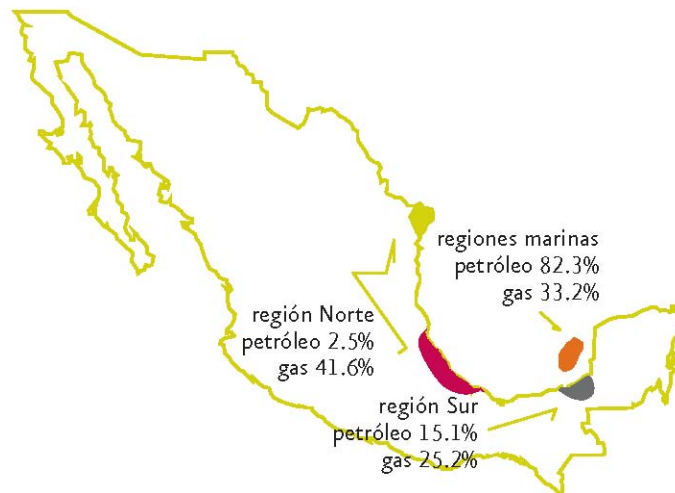
El inventario de este subsector del sector de Suministro Eléctrico incluye emisiones de metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O) y dióxido de carbono (CO₂) asociadas con la producción, el procesamiento, la transmisión y la distribución de combustibles fósiles en Sonora.⁶³ Se calcula que en el 2005, las emisiones de este subsector constituyeron 0.22 MTmCO₂e de las emisiones de GEI en Sonora, y se prevé que para el año 2020 se incrementarán a alrededor de 0.25 MTmCO₂e.

Emisiones y proyecciones de los casos de referencia

Producción de petróleo y gas

El Estado de Sonora no posee reservas de petróleo o gas. Las zonas ricas en depósitos petroleros se localizan alrededor del Golfo de México en tres regiones definidas: la región marina, la región norte, y la región sur. En el 2005, la región marina fue el mayor productor de petróleo, con un 82.3% del total de la producción petrolera nacional. En ese mismo año, la región norte fue el mayor productor de gas, con un 41.6% de la producción nacional. La Figura E-1 contiene el mapa de las regiones ricas en depósitos petroleros o de gas en territorio mexicano.

Figura E-1. Producción de petróleo y gas en México por región⁶⁴



Fuente: Sistema de Información Energética, Sener.

La suma de los parciales puede no coincidir con los totales, debido al redondeo de las cifras.

⁶³ Cabe mencionar que las emisiones provenientes del gas natural que se usa como combustible para operaciones de extracción (en pozos, campos y terrenos arrendados) y como combustible en plantas (de procesamiento de gas natural) se incluyen en el Apéndice B bajo el rubro de quema de combustible industrial.

⁶⁴ Secretaría de Energía. *Balance Nacional de Energía 2006*. (p.37)

Emisiones de la industria petrolera y gasera

En el Estado de Sonora las emisiones asociadas con las industrias de combustibles fósiles provienen del transporte de gas natural a través de los gasoductos estatales, así como de las emisiones fugitivas en el sistema de distribución.

Las emisiones pueden generarse en diversas etapas de la producción, el procesamiento, la transmisión y la distribución de gas. Según la información proporcionada en el documento guía del Programa de Mejoras a los Inventario de Emisiones (*Emission Inventory Improvement Program, EIIP*)⁶⁵ para calcular las emisiones de este sector, los gasoductos son tuberías de gran diámetro y alta presión que transportan a través de grandes distancias el gas de los campos de producción, las plantas de procesamiento, las plantas de almacenamiento, y otras fuentes de suministro, a las empresas distribuidoras locales o a los clientes de alto volumen. Las emisiones de CH₄ de las tuberías de transmisión provienen de fugas, emisiones fugitivas de los compresores, respiraderos, y dispositivos neumáticos. Los conductos de distribución son extensas redes de tuberías generalmente de menor diámetro y baja presión que se encuentran dentro de las ciudades o poblados. Las emisiones de CH₄ de las redes de distribución provienen de fugas, medidores, reguladores, y averías en el sistema. Las emisiones de dióxido de carbono, CH₄, y N₂O ocurren a consecuencia de la quema de gas natural en motores de combustión interna que se usan para operar las estaciones de compresión.

Considerando que existe una planta de procesamiento de gas en funcionamiento y casi 355 kilómetros de gasoductos, existen considerables incertidumbres en la estimación de las emisiones de GEI en Sonora en este sector. Lo anterior se complica aún más debido a que no existen requisitos normativos para dar seguimiento a las emisiones de GEI. Por lo tanto, no es posible en este momento realizar estimaciones basadas en las mediciones de emisiones en Sonora.

La Herramienta para inventarios estatales de gases de efecto invernadero (*State Greenhouse Gas Inventory Tool, SIT*) de la EPA facilita el desarrollo de una estimación aproximada de las emisiones de GEI en el estado. Las estimaciones de las emisiones de GEI se calculan multiplicando los niveles de actividad relacionados con emisiones (Ej. millas de gasoductos, número de estaciones de compresión) por la suma de los factores de emisión promedio de la industria. Las emisiones se calcularon usando la herramienta SIT, haciendo referencia a los métodos y fuentes de datos señalados en el documento guía del EIIP para los sistemas de gas natural y petróleo.⁶⁶ Las emisiones de CO₂, CH₄, y N₂O asociadas con la combustión de gas natural procedente de gasoductos se calcularon usando los factores de emisión de 2006 del Panel

⁶⁵ Programa de Mejoras al inventario de emisiones, Volumen VIII, Capítulo 5. "Métodos para calcular las emisiones de metano de los sistemas de gas natural y petróleo", Agosto de 2004.

⁶⁶ Emission Programa de Mejoras al inventario de emisiones, Volumen VIII, Capítulo 5. "Métodos para calcular las emisiones de metano de los sistemas de gas natural y petróleo", Agosto de 2004.

Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC)⁶⁷ y los datos sobre gas natural en Sonora del periodo 1990-2005 proporcionados por la Secretaría de Energía (SENER).⁶⁸

Emisiones de la producción de carbón

En el Estado de Sonora no hay producción de carbón.

Proyecciones de emisiones

El Cuadro E-1 presenta la descripción general de las fuentes de datos y los enfoques utilizados para desarrollar estimaciones proyectadas sobre las emisiones de sector de combustibles fósiles en Sonora. En caso de haber lagunas en los datos de actividad, se usaron datos sustitutos para calcular las emisiones. En el Cuadro E-1 también se presenta una descripción de los datos sustitutos utilizados.

Cuadro E-1. Enfoque para calcular las emisiones históricas y proyectadas de los sistemas de combustibles fósiles

Actividad	Enfoque para calcular las emisiones históricas		Datos sustitutos	Enfoque para la proyección
	Datos requeridos por el SIT	Fuente de datos		Supuestos en la proyección
Distribución de gas natural	Número total de servicios	Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) ⁶⁹	Población de Sonora	Se supuso que la población es directamente proporcional al número de viviendas con acceso al gas natural para cocinar.
Uso de gas natural entubado (CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O)	Volumen de gas natural entubado consumido	SENER ⁷⁰	Ninguno	Valores oficiales de proyección hasta el 2016. Se aplicó un índice de crecimiento fijo a los años 2017 a 2020
Procesamiento de gas natural	Número de plantas de procesamiento de gas natural	Comisión de Ecología y Desarrollo Sustentable (CEDES)	Ninguno	Sin cambio en el transcurso del tiempo
Transmisión de gas natural	Millas de tubería de recolección	CEDES	Ninguno	Sin cambio en el transcurso del tiempo
	Millas de tubería de transmisión	CEDES	Ninguno	Sin cambio en el transcurso del tiempo
	Número de estaciones de compresión para la transmisión de gas	CEDES	Ninguno	Sin cambio en el transcurso del tiempo

⁶⁷ Las emisiones de GEI se calcularon usando el método y los factores de emisión delineados en el Capítulo 2, Volumen 2, de las Directrices del IPCC de 2006, haciendo referencia al "Cuadro 2.2. Factores de emisión por defecto para la combustión estacionaria en las industrias energéticas". Estas directrices están disponibles en <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.html>.

⁶⁸ Los datos del inventario y proyección del consumo de gas natural correspondientes a los años 1996 a 2013 están disponibles en la publicación de la SENER titulada *Balance Nacional de Energía 2006* www.semer.gob.mx.

⁶⁹ INEGI: Censo General de Población y Vivienda 2000; viviendas; combustible para cocina.

⁷⁰ SENER: Prospectiva del Mercado de Gas Natural 2007-2016.

Resultados

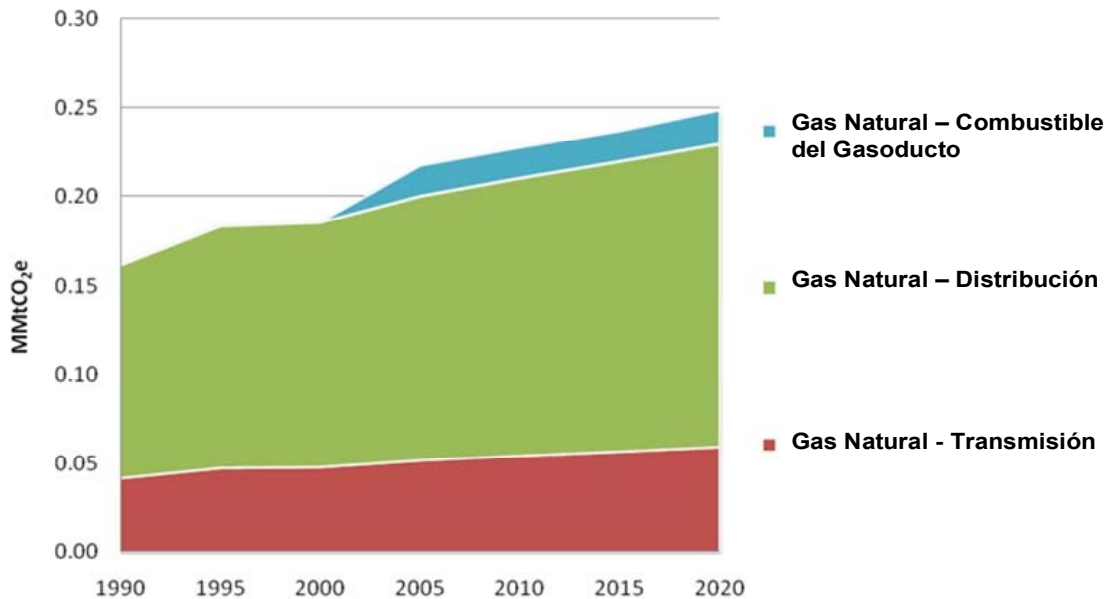
El Cuadro E-2 muestra las emisiones estimadas de la industria de combustibles fósiles en Sonora en los años seleccionados dentro del periodo de 1990 a 2025. Las emisiones de este sector aumentaron un 35% de 1990 al 2005, además de que se prevé un incremento adicional de un 14% entre el 2005 y el 2025. La transmisión de gas natural es el principal factor que contribuye tanto a las emisiones históricas como a su aumento. La Figura E-2 muestra las tendencias de emisiones al nivel de procesos en la industria de combustibles fósiles, sobre la base de millones de toneladas métricas de dióxido de carbono equivalente (MTmCO₂e).

Cuadro E-2. Emisiones históricas y proyectadas de la industria de combustibles fósiles en MTmCO₂e

Fuente	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020
Industria de combustibles fósiles	0.161	0.183	0.185	0.217	0.227	0.237	0.248
Industria de gas natural	0.161	0.183	0.185	0.217	0.227	0.237	0.248
Transmisión	0.042	0.047	0.048	0.052	0.054	0.057	0.059
Distribución	0.120	0.136	0.137	0.148	0.156	0.163	0.170
Combustible en gasoductos	0.000	0.000	0.000	0.017	0.017	0.017	0.019

Nota: Los cálculos se basan en el enfoque descrito en el texto.

Figura E-2. Tendencias en las emisiones de las industrias de combustibles fósiles (MTmCO₂e)



Fuente: Cálculos basados en el enfoque descrito en el texto

Incertidumbres principales

Las principales fuentes de incertidumbre que subyacen en las estimaciones anteriores son las siguientes:

- Niveles actuales de emisiones fugitivas. Se basan en los promedios de toda la industria, y hasta en tanto no haya estimaciones sobre las plantas de la localidad, seguirá habiendo incertidumbres importantes.
- Proyecciones sobre producción de combustibles fósiles a futuro. Los supuestos que se usaron en las proyecciones no reflejan todos los posibles cambios que podrían afectar en el futuro las emisiones de GEI, incluyendo la futura inversión de capital, los posibles cambios en la normatividad, y las mejoras tendientes a reducir emisiones en la producción, el procesamiento y las tecnologías de transmisión de petróleo y gas.

[Esta página se dejó en blanco intencionalmente.]

Apéndice F. Agricultura

Descripción general

Las emisiones que contempla este apéndice se refieren a las emisiones no energéticas de metano (CH_4) y óxido nitroso (N_2O) procedentes del ganado y la producción agrícola. Asimismo, el apéndice comprende las emisiones y los sumideros de carbono en suelos agrícolas derivados de cambios en las prácticas de cultivo. Las emisiones energéticas (quema de combustibles fósiles en el equipo agrícola) se incluyen en las estimaciones sobre el sector residencial, comercial e industrial (RCI) (ver Apéndice B). Las principales fuentes de GEI y sumideros –producción pecuaria, suelos agrícolas, y quema de rastrojos– se subdividen además en la siguiente forma:

Fermentación entérica: Las emisiones de CH_4 derivadas de la fermentación entérica son el resultado de los procesos digestivos normales del ganado rumiante y no rumiante. Los microbios que se encuentran en el sistema digestivo del animal descomponen los alimentos y emiten como subproducto el CH_4 . Además, el ganado rumiante produce más CH_4 debido a la actividad digestiva de su gran estómago glandular.

Gestión del estiércol: Las emisiones de CH_4 y N_2O derivadas del almacenamiento y el manejo del estiércol de ganado (Ej. en estercoleros o lagunas de tratamiento anaeróbico) ocurren como resultado de la descomposición de las excretas. Las condiciones ambientales de la descomposición son las que dictan la magnitud relativa de las emisiones. En general, entre más anaeróbicas sean las condiciones, más CH_4 se produce, ya que las bacterias que ayudan a la descomposición y que generan CH_4 , se desarrollan mejor en condiciones en las que el oxígeno es limitado. En contraste, las emisiones de N_2O aumentan cuando las condiciones son aeróbicas. El IPCC de 2006 divide esta fuente de la siguiente manera:

- Emisiones de CH_4 generadas por la gestión del estiércol
- Emisiones directas de N_2O generadas por la gestión del estiércol
- Emisiones indirectas de N_2O generadas por la lixiviación
- Emisiones indirectas de N_2O generadas por la volatilización

Suelos agrícolas: La gestión de los suelos agrícolas puede producir emisiones de N_2O y flujos netos de dióxido de carbono (CO_2) que generen emisiones o sumideros. En general, las modificaciones a los suelos mediante las cuales se agrega a éstos nitrógeno, también pueden generar emisiones de N_2O . La adición de nitrógeno fomenta la nitrificación de los suelos subyacentes y los ciclos de des-nitrificación, lo cual a su vez genera como subproducto el N_2O . El IPCC de 2006 segrega esta fuente de la siguiente manera:

- Emisiones directas de N_2O generadas por la gestión de suelos
- Emisiones indirectas de N_2O generadas por la deposición atmosférica
- Emisiones indirectas de N_2O generadas por la lixiviación y los escurrimientos

Quema de residuos: Cuando se queman los rastrojos de los cultivos se generan emisiones de CH_4 y N_2O .

Emisiones y proyecciones de los casos de referencia

Datos del inventario

Fermentación entérica. Las emisiones de metano de 1990 a 2005 se calcularon usando el método de Nivel 1 descrito en las Directrices para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC, 2006).⁷¹ En este método se multiplican los factores de emisión anuales del metano específicos para cada tipo de animal rumiante por datos de actividad (población ganadera por tipo de animal). Los datos de actividad que proporcionó la Comisión de Ecología y Desarrollo del Estado de Sonora (CEDES)⁷² se resumen en el Cuadro F-1. Esta metodología, así como las demás que se describen posteriormente, se basan en los lineamientos internacionales desarrollados por expertos en el sector para elaborar los inventarios de las emisiones de GEI.⁷³

Cuadro F-1. Población ganadera inventariada

Ganado	1990 ⁷⁴	1995	2000	2005
Porcino para reproducción	1,156,048	1,155,500	1,208,092	1,210,195
Aves de engorda	3,479,959	210,000	382,118	530,457
Vacuno	0	1,070	1,250	18,719
Caprino	109,987	25,600	24,776	47,471
Equino	79,716	79,716	79,716	79,716
Aves ponedoras (seco)	12,885,323	10,505,800	10,618,045	11,418,309
Otro ganado	1,623,622	1,283,476	1,104,944	1,479,935
Ovino	30,805	14,765	27,067	41,715
Pavos			328,588	438,936

Gestión del estiércol. Las Directrices del IPCC de 2006 se usaron para calcular las emisiones de metano y óxido nitroso con datos de actividad sobre las poblaciones ganaderas del Estado de Sonora en el lapso de 1980 al 2005. Los datos de actividad los suministró CEDES a partir del Sistema de Información Agropecuaria de Consulta (SIACON; ver Cuadro F-1).

Para calcular las emisiones de CH₄ generadas por la gestión del estiércol, se multiplicaron las cifras de población por una estimación de la masa típica animal y el índice de producción de sólidos volátiles (SV) para calcular el total de SV producidos. La estimación de SV por tipo de animal se multiplica luego por un factor máximo de emisiones potenciales de CH₄ y un factor de conversión de metano ponderado para derivar el total de emisiones de CH₄. El factor de

⁷¹ Las emisiones de GEI se calcularon usando el método de Nivel 1 descrito en el Volumen 4, Capítulo 10 de las Directrices del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático para Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero publicadas en el Programa Nacional de Inventario de Gases de Efecto Invernadero del IPCC, disponible en (<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.html>).

⁷² La CEDES proporcionó información pecuaria basada en dos fuentes: 1) el Sistema de Información Agropecuaria de Consulta (SIACON), una base de datos nacional en la que se llevan estadísticas sobre agricultura y ganadería; 2) el Anuario Estadístico del Estado de Sonora, disponible en el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI).

⁷³ Directrices de 2006 modificadas del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC) para Inventarios Nacionales de gases de efecto invernadero y Lineamientos de Prácticas Óptimas y Gestión de Incertidumbres en los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero, publicados en el 2000 por el Programa de Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero, disponible en: (<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gp/english/>).

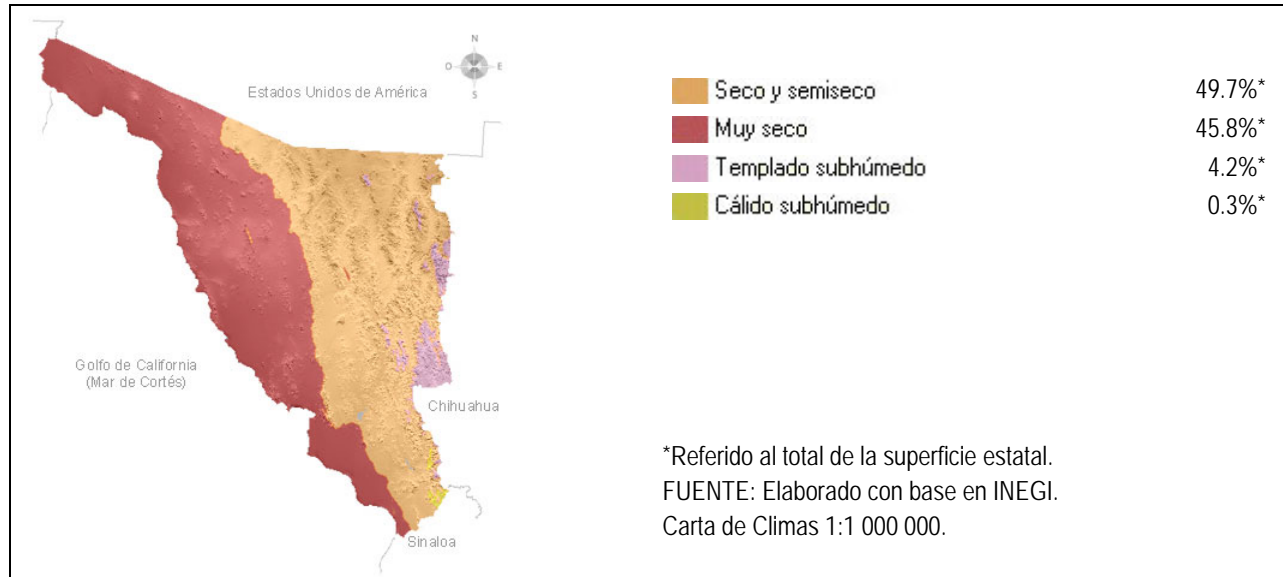
⁷⁴ El repentino declive en algunas poblaciones entre 1990 y 1995 (aves de engorda, ganado caprino y ovino) puede indicar algún problema con la calidad de los datos.



conversión de metano (FCM) ajusta las emisiones máximas potenciales de metano con base en los tipos de sistemas de gestión de estiércol que se emplean en Sonora.

Los factores de emisión se derivaron de una combinación de los estudios realizados por expertos regionales⁷⁵ y las prácticas de gestión del estiércol en el Estado. Se usaron factores de emisión y conversión por defecto para todas las fuentes de emisión en este sector, con información sobre la población ganadera por tipo, zona geográfica, y región climática. La zona geográfica que corresponde a Sonora es América Latina, mientras que las regiones climáticas son la cálida (>26 grados C) y la templada (12-25 grados C), asignadas a un 95.8% y un 4.2% de la población ganadera por tipo, según el terreno cubierto por cada zona climática (ver Figura F-1). Los supuestos sobre el estiércol gestionado por tipo de sistema y los factores de conversión de metano asociados se indican en los Cuadros F-2 y F-3 a continuación. Se supuso que la distribución de los sistemas de gestión de estiércol y los factores de conversión de metano permaneció constante durante los años del inventario y de la proyección.

Figura F-1. Distribución de zonas climáticas en Sonora



⁷⁵ Los resultados de los estudios se presentan en el Cuadro 10-A-4 del Volumen 4, Capítulo 10 de las Directrices de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero.

Cuadro F-2. Distribución por defecto de los sistemas de gestión de estiércol en América Latina

Ganado	Quema como combustible	Distribución diaria	Digestor	Lote seco	Semi-líquido	Otro	Prado, Verde, Pastizal	Almacenamiento sólido
Porcino para reproducción		2.0%	0.0%	41.0%	8.0%	40.0%		10.0%
Aves de engorda						100.0%		
Vacuno lechero	0.0%	62.0%	0.0%	0.0%	1.0%	0.0%	36.0%	1.0%
Caprino						100.0%		
Equino						100.0%		
Aves ponedoras (seco)						100.0%		
Aves ponedoras (húmedo)						100.0%		
Porcino de engorda		2.0%		41.0%	8.0%	40.0%		10.0%
Mular/Asnar						100.0%		
Otro ganado	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	1.0%	99.0%	0.0%
Ovino						100.0%		
Pavos						100.0%		

Cuadro F-3. FCM de los sistemas de gestión de estiércol por zona climática

Ganado	Quema como combustible	Distribución diaria	Digestor	Lote seco	Semi-líquido	Otro	Prado, Verde, Pastizal	Almacenamiento sólido	Ganado
Porcino para reproducción	Templada		0.5%	10.0%	1.5%	42.0%	1.0%		4.0%
	Cálida		1.0%	10.0%	2.0%	78.0%	1.0%		5.0%
Porcino para reproducción	Templada						1.5%		
	Cálida						1.5%		
Vacuno lechero	Templada	10.0%	0.5%	10.0%	1.5%	42.0%	10.0%	1.5%	4.0%
	Cálida	10.0%	1.0%	10.0%	2.0%	78.0%	1.0%	2.0%	5.0%
Caprino	Templada						1.5%		
	Cálida						2.0%		
Equino	Templada						1.5%		
	Cálida						2.0%		
Aves ponedoras (seco)	Templada						1.5%		
	Cálida						1.5%		
Aves ponedoras (húmedo)	Templada						78.0%		
	Cálida						80.0%		
Porcino de engorda	Templada		0.5%		1.5%	42.0%	1.0%		4.0%
	Cálida		1.0%		2.0%	78.0%	1.0%		5.0%
Mular/Asnar	Templada						1.5%		
	Cálida						2.0%		
Otro ganado	Templada	10.0%	0.5%	10.0%	1.5%	42.0%	1.0%	1.5%	4.0%
	Cálida	10.0%	1.0%	10.0%	2.0%	78.0%	1.0%	2.0%	5.0%
Ovino	Templada						1.5%		
	Cálida						2.0%		
Pavos	Templada						1.5%		
	Cálida						1.5%		

Las emisiones directas de N₂O generadas por la gestión del estiércol se obtienen usando las mismas cifras de población animal anteriormente mencionadas, multiplicadas por la masa típica animal y el factor de producción del nitrógeno total Kjeldahl (nitrógeno K). El nitrógeno total K se multiplica por un factor de no volatilización para determinar la porción que se maneja en los sistemas de gestión de estiércol. La parte no volatilizada se divide luego en fracciones que se procesan en sistemas de gestión de residuos líquidos (Ej. lagunas) o sólidos (Ej. apilamiento, composteo). Enseguida estas fracciones se multiplican por un factor de emisión del N₂O, y los resultados se suman para calcular el total de las emisiones de N₂O. El Cuadro F-4 muestra el factor de emisión del N₂O por sistema de gestión de estiércol.

Cuadro F-4. Factores de emisión del óxido nitroso aplicados a los sistemas de gestión de estiércol

Nombre del sistema de gestión	Factor de emisión (kg N₂O-N/N excretado)
Dispersión diaria	0
Digestor	0
Lote seco	0.02
Laguna	0
Semilíquido	0.005
Otro	0.001
Fosa	0.002
Fosa >1 mes	0.002
Almacenamiento sólido	0.005

Las emisiones indirectas de N₂O generadas por la lixiviación se obtienen tomando la masa de nitrógeno excretada por el animal en cada sistema de gestión de estiércol y multiplicándola por la fracción de nitrógeno liberado a través de lixiviación y escurrimientos; luego el producto se multiplica por un factor de emisión del N₂O. Las emisiones indirectas del N₂O generadas por la volatilización se obtienen tomando la masa de nitrógeno excretada por el animal en cada sistema de gestión de estiércol y multiplicándola por la fracción de nitrógeno liberada a través de la volatilización. Luego el producto se multiplica por un factor de emisión del N₂O. El Cuadro F-5 muestra los valores por defecto aplicados a las emisiones indirectas de N₂O debido a la lixiviación y a la volatilización

Cuadro F-5. Valores por defecto de las emisiones indirectas de N₂O provenientes de la gestión del estiércol

Ganado	Sistema de gestión	Volatilización		Lixiviación	
		Fracción	Factor de emisión (kg N ₂ O-N/kg N)	Fracción	Factor de emisión (kg N ₂ O-N/kg N)
Porcino para Reproducción	Dispersión diaria	7.00%	0.01	4.50%	0.0075
Porcino para Reproducción	Lote seco	45.00%	0.01	4.50%	0.0075
Porcino para Reproducción	Semilíquido	48.00%	0.01	4.50%	0.0075
Porcino para Reproducción	Otro	26.00%	0.01	4.50%	0.0075
Porcino para Reproducción	Almacenamiento sólido	45.00%	0.01	4.50%	0.0075
Aves de engorda	Otro	45.00%	0.01	4.50%	0.0075
Vacuno lechero	Dispersión diaria	7.00%	0.01	4.50%	0.0075
Vacuno lechero	Semilíquido	40.00%	0.01	4.50%	0.0075
Vacuno lechero	Pasture, Verde, Pastizal		0.01	4.50%	0.0075
Vacuno lechero	Almacenamiento sólido	30.00%	0.01	4.50%	0.0075
Caprino	Otro	23.50%	0.01	4.50%	0.0075
Equino	Otro	23.50%	0.01	4.50%	0.0075
Aves ponedoras (seco)	Otro	45.00%	0.01	4.50%	0.0075
Aves ponedoras (húmedo)	Otro	45.00%	0.01	4.50%	0.0075
Porcino de engorda	Dispersión diaria	7.00%	0.01	4.50%	0.0075
Porcino de engorda	Lote seco	45.00%	0.01	4.50%	0.0075
Porcino de engorda	Semilíquido	48.00%	0.01	4.50%	0.0075
Porcino de engorda	Otro	26.00%	0.01	4.50%	0.0075
Porcino de engorda	Almacenamiento sólido	45.00%	0.01	4.50%	0.0075
Mular/Asnar	Otro	23.50%	0.01	4.50%	0.0075
Otro ganado	Otro	35.00%	0.01	4.50%	0.0075
Otro ganado	Prado, Verde, Pastizal		0.01	4.50%	0.0075
Ovino	Otro	23.50%	0.01	4.50%	0.0075
Pavos	Otros	45.00%	0.01	4.50%	0.0075

Suelos agrícolas. La descomposición de los rastrojos de los cultivos, incluyendo los cultivos fijadores de nitrógeno, agrega nitrógeno al ciclo de nitrificación y des-nitrificación del suelo, lo cual genera N₂O como subproducto. La cantidad de nitrógeno en las tierras de cultivo se calculó como el producto de la materia seca cosechada anualmente, la relación entre la materia seca vegetal y la materia seca de cultivos, la fracción de nitrógeno de la materia seca vegetal, y el factor por defecto de emisión del nitrógeno. En el Cuadro F-6 se identifica el grupo de cultivos fijadores de nitrógeno como frijoles y legumbres.

Cuadro F-6. Inventario de producción de cultivos en toneladas métricas ⁷⁶

Cultivo	Cultivo	1990	1995	2000	2005
Alfalfa	Alfalfa	1,456,886	1,798,350	1,223,905	1,635,736
Cebada	Cebada Grano	11,879	15,695	2,987	1,040
Frijoles y legumbres	Chícharo	4,837	6,790	2,005	2,485
	Frijol	15,850	6,158	7,419	8,862
	Garbanzo Grano	17,664	10,577	35,708	34,225
Mezclas de pasto y trébol	Pastos	7,666	28,825	64,804	36,406
Maíz	Elote		4,524	14,802	8,244
	Maíz	122,178	491,476	82,681	131,560
No leguminosas	Ajonjolí	16,704	2,115	4,658	452
	Alpiste	1,030	158		
	Forrajes	6,571	6,894	5,095	
Forraje no fijador de N	Avena Forrajera	3,848	4,916	49,796	71,289
	Cebada Forrajera en Verde	25,889	54,316	128,886	73,903
Avena	Avena grano			0	
Cacahuete (en vaina)	Cacahuete	819	1,314	1,531	708
Siembras perennes	Canola			2,006	956
	Cártamo	54,000	59,666	39,817	70,122
Papa	Papa	71,932	102,653	175,619	392,038
Raíces, otros	Betabel		51	167	924
	Rábano	1,655	1,557	932	1,621
	Zanahoria	530	2,075	2,863	10,878
Centeno	Centeno en Verde	158,396	75,305	77,191	174,181
Sorgo	Sorgo	837,774	1,612,449	3,948,869	3,261,288
Soya	Soya	5,769	37,400		
Caña de azúcar	Caña de azúcar	2,037	0	3,056	0
Trigo	Trigo	1,513,868	1,256,357	1,748,142	1,127,187

La aplicación de fertilizante sintético también aporta nitrógeno al ciclo de nitrificación y desnitrificación del suelo y contribuye a que se libere N₂O a la atmósfera. Las emisiones derivadas de la aplicación de fertilizante a terrenos agrícolas se calcularon con datos nacionales sobre el consumo de fertilizantes⁷⁷ y superficie de tierra cultivada⁷⁸. La fracción de tierra cultivada en Sonora en comparación con la superficie nacional de cultivos fue utilizada para asignar el valor de consumo de fertilizantes a nivel estatal. El Cuadro F-7 muestra los datos de actividad disponibles, además de la masa de nitrógeno que aportan al suelo los fertilizantes sintéticos.

⁷⁶ La CEDES proporcionó los datos sobre la producción de cultivos los proporcionó que provienen del Sistema de Información Agropecuaria de Consulta (SIACON).

⁷⁷ Food and Agriculture Administration 2007. *FAOSTAT*. En línea: <http://faostat.fao.org/>

⁷⁸ Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. 2007. *Sistema de Información Agroalimentaria y de Consulta 1980-2006*. En línea: http://www.oeidrus-tamaulipas.gob.mx/ed_anuario_06/SIACON_2007.html

Cuadro F-7. Datos sobre aplicación de fertilizantes

Concepto	1990	1995	2000	2005
Superficie cultivada – México (millones ha)	19.73	20.94	21.78	21.64
Superficie cultivada - Sonora (millones ha)	0.60	0.67	0.55	0.50
Cantidad de fertilizante – Sonora (1000 toneladas N)	19.73	20.94	21.78	21.64

Las aportaciones al ciclo de nitrificación y des-nitrificación del suelo por el uso de fertilizantes orgánicos se calcularon como la cantidad de nitrógeno total disponible en el estiércol reciclado, menos la cantidad de este nitrógeno dedicado a la alimentación de animales, la combustión, o la construcción. En el caso de Sonora, se supuso que ninguna cantidad de estiércol se usó como alimento, combustible, o para fines de construcción.

Con respecto a la aplicación de minerales a los histosoles, se determinó que el clima y la vegetación de Sonora no se prestan para el cultivo de suelos altamente orgánicos. Además, tampoco se consideró la inundación y el drenaje de suelos orgánicos, ya que este tipo de práctica no se da en el estado.

La aportación de nitrógeno a los suelos derivada de la deposición de orina y heces fecales de los animales que apacientan en prados, verdes o pastizales, se calculó como la fracción del nitrógeno presente en el estiércol que queda en los campos sin recibir tratamiento alguno. En el Cuadro F-3 se identifica la fracción por defecto de estiércol sin gestionar.

Quema de rastrojos. Las quemas agrícolas pueden generar emisiones tanto de N₂O como de CH₄. La ecuación 2.27 del Volumen 4, Capítulo 2 de la guía del IPCC de 2006 se usó para calcular las emisiones y la superficie de cultivo sujeta a la quema.⁷⁹ Con la metodología del IPCC de 2006 se calculan las emisiones como el producto del área quemada, la masa disponible para combustión por unidad de superficie, el grado de combustión, y los factores de emisión. A la información del inventario relacionada con la quema de rastrojos en tierras agrícolas de Sonora se aplicaron los factores de conversión y emisión por defecto (ver los detalles de los datos de actividad en el Cuadro F-8).

F-8. Tierras de cultivo en las que se practica la quema de rastrojos, en hectáreas

Cultivo	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
Avena Forrajera total	2	0	44	12	110	2	0	6
Cebada	25	0	88	0	36	0	0	0
Elote	0	0	0	0	0	595	0	0
Maíz	2,731	1,745	1,084	3,007	550	17,885	5,385	620
Centeno en verde	0	0	11	13	0	0	0	113
Trigo	657	656	594	1,182	517	70		245
Área total	3,415	2,401	1,821	4,214	1,213	18,552	5,385	984

⁷⁹ Fuente: Oficina Estatal de Información para el Desarrollo Rural Sustentable del Estado de Sonora (OEIDRUS) correspondiente a los años 1999-2006.

Datos de la proyección

Las estimaciones de la proyección se basaron en las tendencias de población ganadera y producción de cultivos de 1990 al 2005. Los índices de crecimiento resultantes que se usaron para calcular las emisiones del 2005 al 2020 se indican en los Cuadros F-9 y F-10. Cabe mencionar que un crecimiento negativo indica una disminución en la población ganadera o en la producción de cultivos. La suspensión total de la ganadería o la actividad agrícola se expresa como una unidad negativa completa (-100%). Con base en estos índices de crecimiento se calcularon las proyecciones de producción pecuaria y agrícola hasta el año 2020. Los valores proyectados se indican en los Cuadros F-11 y F-12.

Cuadro F-9. Índices de crecimiento aplicados a la población ganadera

Ganado	Índice de crecimiento 2006-2020
De engorda	4.0%
Vacuno lechero	2.6%
Caprino	3.2%
Equino	0.0%
Aves ponedoras (húmedo)	0.1%
Porcino de engorda	0.3%
Otro ganado	1.5%
Ovino	1.7%
Pavos	0.4%

Cuadro F-10. Índices de crecimiento aplicados a la producción de cultivos

Nombre del cultivo		Crecimiento medio anual	
Español	Inglés	Índice (%)	Periodo
Ajonjolí	Non-legume hay	2.7	1996-2004
Alfalfa	Alfalfa	0.7	1993-2005
Alpiste	Non-legume hay	0	NA
Avena Forrajera	Non-N-fixing forages	1.6	2003-2005
Avena grano	Oats	0	NA
Betabel	Root crops, other	4.3	1991-2002
Cacahuete	Peanut (w/pod)	2.9	1993-2005
Caña de azúcar	Sugarcane	6.9	2002-2004
Canola	Perennial grasses	0	NA
Cártamo	Perennial grasses	1.8	1990-2005
Cebada Forrajera	Non-N-fixing forages	2.7	1998-2005
Cebada Grano	Barley	1.6	1996-2006*
Chícharo	Beans & pulses	8.5	1991-2005
Elote	Maize	0.3	1998-2005
Forrajes	Non-legume hay	3.8	1991-2000
Frijol	Beans & pulses	3.6	2000-2005
Garbanzo Grano	Beans & pulses	1.1	1996-2005
Maíz	Maize	7.5	2000-2004
Papa	Potato	4.1	1999-2004
Pastos	Grass-clover mixtures	1.8	1995-2005
Rábano	Root crops, other	3.9	1998-2005
Centeno en Verde	Rye	0.6	1990-2005
Sorgo	Sorghum	5.3	1995-2004



Nombre del cultivo		Crecimiento medio anual	
Español	Inglés	Índice (%)	Periodo
Soya	Soybean	7.7	1991-1993
Trigo	Wheat	4.1	1996-2003
Zanahoria	Root crops, other	2.2	1998-1999

* El 2006 se calculó como el valor promedio de los años de inventario 1990-2005

Cuadro F-11. Proyección de población ganadera 2005-2020

Rubro	2005	2010	2015	2020
Ganado porcino para reproducción	1,210,195	1,228,802	1,247,696	1,266,879
Aves de engorda	530,457	646,524	787,987	960,402
Ganado vacuno lechero	18,719	21,260	24,148	27,427
Ganado caprino	47,471	55,635	65,202	76,415
Ganado equino	79,716	79,716	79,716	79,716
Aves ponedoras (seco)	11,418,309	11,450,282	11,482,344	11,514,496
Otro ganado	1,479,935	1,597,571	1,724,558	1,861,639
Ganado ovino	41,715	45,351	49,305	53,604
Pavos	438,936	447,282	455,787	464,453

Cuadro F-12. Proyección de producción de cultivos 2005-2020

Cultivo	Cultivo	2005	2010	2015	2020
Alfalfa	Alfalfa	1,635,736	1,693,172	1,752,625	1,814,166
Cebada	Cebada Grano	1,040	13,557	14,704	15,947
Frijoles y legumbres	Chícharo	2,485	3,733	5,609	8,426
	Frijol	8,862	10,586	12,646	15,105
	Garbanzo Grano	34,225	36,113	38,105	40,207
Mezclas de pasto y trébol	Pastos	36,406	39,744	43,387	47,364
Maíz	Elote	8,244	12,641	12,803	12,967
	Maíz	131,560	445,275	639,541	918,563
No leguminosas	Ajonjolí	5,677	6,488	7,415	8,475
	Alpiste	656	656	656	656
	Forrajes		7,034	8,473	10,205
Forraje no fijador de N	Avena Forrajera	71,289	77,194	83,588	90,511
	Cebada Forrajera En Verde	73,903	84,558	96,749	110,698
Avena	Avena grano		0	0	0
Cacahuete (en vaina)	Cacahuete	708	815	938	1,079
Siembras perennes	Canola	956	892	892	892
	Cártamo	70,122	76,502	83,463	91,057
	Papa	392,038	202,473	247,965	303,679
Raíces, otros	Betabel	924	161	199	245
	Rábano	1,621	1,958	2,366	2,858
	Zanahoria	10,878	12,143	13,554	15,130

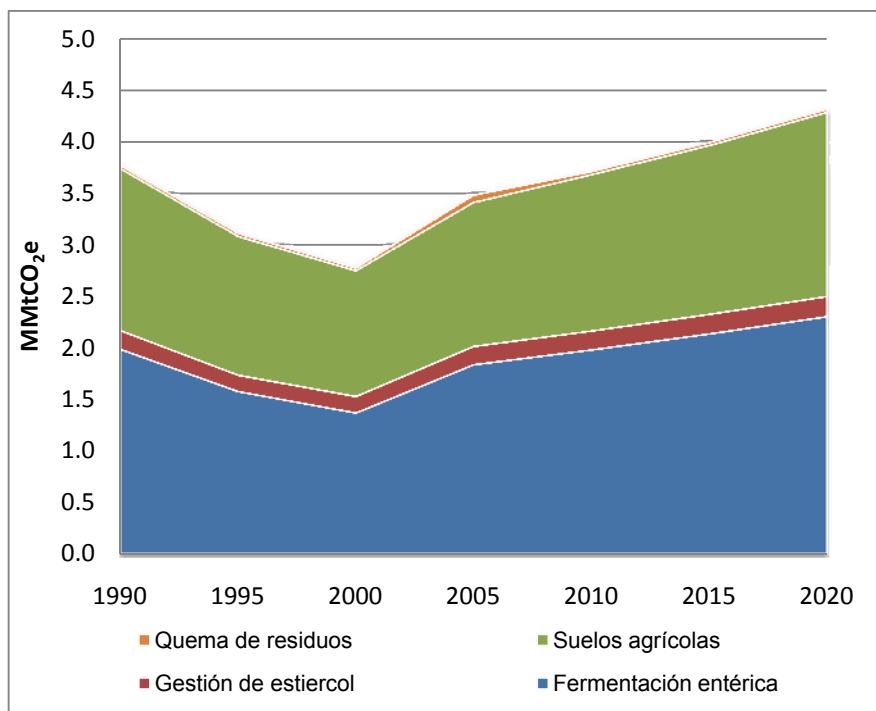
Centeno	Centeno en Verde	174,181	179,785	185,569	191,539
Sorgo	Sorgo	3,261,288	4,224,611	5,472,482	7,088,951
Soya	Soya	92,449	133,993	194,206	281,478
Caña de azúcar	Caña de azúcar	688	961	1,342	1,874
Trigo	Trigo	1,127,187	1,376,366	1,680,629	2,052,153

Resultados

Durante los años del inventario (1990 a 2005), el total de las emisiones agrícolas disminuyó un 8%, llegando a niveles del orden de 3.47 millones de toneladas métricas de dióxido de carbono equivalente (MTmCO_{2e}). En 1990, las dos principales fuentes emisoras fueron la fermentación entérica y los suelos agrícolas. La fermentación entérica por sí sola constituyó el 52.6% del total de las emisiones de gases de efecto invernadero en 1990. La fuente emisora de mayor crecimiento durante el lapso considerado fue la quema de rastrojos, con un índice de crecimiento medio anual del 5.8%; todas las demás fuentes tuvieron un índice de crecimiento medio anual negativo.

Durante los años de la proyección (2005 al 2020), se proyectó que el total de las emisiones derivadas de la agricultura se incrementarían en un 24%, llegando a niveles del orden de los 4.18 millones de toneladas métricas de dióxido de carbono equivalente. En el 2020, los dos principales sectores generadores de emisiones serán la fermentación entérica y los suelos agrícolas. La primera, por sí sola, representará un 53.3% del total de las emisiones de gases de efecto invernadero en el año 2020. La fuente emisora de mayor crecimiento durante el lapso considerado será el suelo agrícola, con un índice de crecimiento medio anual de 1.7%. En la Figura F-2 y en el Cuadro F-13 se presenta el resumen de las cifras de emisiones de gases de efecto invernadero por sector generador. La distribución de las emisiones de gases de efecto invernadero por fuente se presenta en el Cuadro F-14. Finalmente, los índices de crecimiento medio anuales de los intervalos seleccionados se indican en el Cuadro F-15.

Figura F-2. Emisiones de GEI derivadas de la agricultura 1990-2020



Cuadro F-13. Emisiones de GEI derivadas de la agricultura (MTmCO₂e)

Fuente	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020
Fermentación entérica	1.98	1.57	1.36	1.83	1.97	2.13	2.30
Gestión de estiércol	0.18	0.16	0.16	0.18	0.18	0.19	0.20
Suelos agrícolas	1.57	1.34	1.22	1.40	1.52	1.64	1.78
Quema de rastrojos	0.03	0.03	0.03	0.07	0.03	0.03	0.03
Total	3.76	3.10	2.77	3.47	3.70	3.98	4.31

Cuadro F-14. Distribución de las emisiones de GEI en el sector agrícola

Fuente	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020
Fermentación entérica	52.6%	50.6%	49.2%	52.7%	53.3%	53.4%	53.3%
Gestión de estiércol	4.8%	5.1%	5.8%	5.1%	5.0%	4.8%	4.5%
Suelos agrícolas	41.7%	43.3%	44.1%	40.2%	40.9%	41.1%	41.4%
Quema de rastrojos	0.8%	1.0%	1.0%	2.0%	0.8%	0.8%	0.7%

Cuadro F-15. Índice de crecimiento medio anual de los GEI en los intervalos seleccionados

Agricultura	1990-2005	2005-2020	1990-2020
Fermentación entérica	-0.52%	1.52%	0.50%
Gestión de estiércol	-0.18%	0.65%	0.23%
Suelos agrícolas	-0.78%	1.65%	0.43%
Quema de rastrojos	5.78%	-5.46%	0.00%

Incertidumbres principales

A fin de reducir la incertidumbre relacionada con las emisiones de gases de efecto invernadero provenientes de los procesos de fermentación entérica, se recomienda desarrollar una clasificación optimizada de la población ganadera. En el caso de Sonora, el rubro denominado "otro ganado" (ganado vacuno no lechero) representa el 925 de la población de rumiantes. Esta amplia categoría podría desglosarse por subcategorías (Ej. becerros, toros, etc.) y por número de cabezas de ganado en pastizales en comparación con el número de cabezas en corrales de engorda. Luego se podrían aplicar factores de emisión específicos para cada una de las subcategorías. Como mínimo se necesita la siguiente información para desarrollar factores de emisión específicos para cada subcategoría de ganado: 1) estimación sobre la ingesta de alimento, 2) peso promedio de los animales, 3) índice de actividad animal, 4) condiciones de alimentación, y 5) condiciones medias invernales. Los esfuerzos adicionales que se realicen en esta categoría de fuente generadora tendrán un impacto importante en una gran parte del total de las emisiones derivadas de la fermentación entérica.

Las emisiones procedentes de la aplicación de fertilizante a terrenos agrícolas se calcularon a partir de un valor nacional que se reduce a un valor estatal por medio de datos subyacentes. Dado que la aplicación de fertilizantes varía considerablemente de un cultivo a otro, se recomienda que las aportaciones de nitrógeno se segreguen por tipo de cultivo y de fertilizante, de ser posible (incluyendo distintos fertilizantes comerciales y orgánicos, como el estiércol). Esta información, combinada con la superficie fertilizada por cultivo, ayudará a disminuir la incertidumbre.

Un último elemento que contribuye a la incertidumbre el cálculo de las emisiones lo constituyen los supuestos de la proyección. Los índices de crecimiento medio anual se derivaron de las tendencias históricas durante el lapso de 1990 a 2005; sin embargo, los datos históricos inconsistentes. A principios de los noventa hubo cifras de población ganadera y producción agrícola muy altos, que luego decayeron notablemente para el año 2005. Aún en los años en los que hubo un rendimiento alto, los valores oscilaron marcadamente de un año a otro. La fluctuación de los valores podría ser indicativa de la mala calidad de los datos.

Apéndice G. Manejo de Residuos

Descripción general

Las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) procedentes de la gestión de residuos incluyen:

- Gestión de residuos sólidos urbanos– emisiones de metano (CH₄) de rellenos sanitarios municipales e industriales para residuos sólidos, lo cual representa el CH₄ incinerado o capturado para la producción de energía (esto incluye tanto rellenos sanitarios abiertos como cerrados);⁸⁰
- Combustión de residuos sólidos urbanos– emisiones de CH₄, dióxido de carbono (CO₂), y óxido nitroso (N₂O) de la combustión de residuos sólidos o la quema de residuos domésticos a cielo abierto; y
- Gestión de aguas residuales – CH₄ y N₂O de aguas residuales municipales y CH₄ de plantas de tratamiento de aguas residuales (AR) industriales.

Inventario y proyecciones de los casos de referencia

Gestión de residuos sólidos urbanos

En el caso de la gestión de residuos sólidos urbanos, los datos de emplazamiento se obtuvieron del Sistema Nacional de Información Ambiental y Recursos Naturales (SNIARN)⁸¹. El banco de datos SNIARN provee la masa de residuos sólidos urbanos emplazados por entidad federativa para el periodo 1998 al 2008. Estadísticas de población se utilizaron para modelar emisiones históricas comenzando con el año 1960; asimismo proyecciones de población sirvieron para estimar la tasa de generación de residuos en el escenario de emisiones. Las emisiones por emplazamiento de residuos sólidos urbanos se calcularon utilizando el modelo de descomposición de primer orden publicado en las directrices del IPCC 2006.⁸²

Los residuos denominados “industriales” en los E.E.U.U. equivalen a los “residuo de uso especial” en México. Aunque los residuos de uso especial se han definido en la legislatura Mexicana⁸³, en práctica, los sitios de relleno consolidan los residuos de uso especial con los residuos sólidos urbanos. Por esta razón, el inventario no incluye estimados de las emisiones por emplazamiento de residuos de manejo especial; se entiende que estas emisiones ya están reflejadas en los estimados para la categoría de residuos sólidos urbanos.

De acuerdo a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, existen once proyectos de Mecanismo de Desarrollo Limpio en México que reducen las emisiones de

⁸⁰ CCS reconoce que de la combustión de gases de los rellenos sanitarios también se producen emisiones de N₂O y CH₄; sin embargo, estas emisiones tienden a ser insignificantes en el desarrollo de un inventario estatal para fines de análisis de las políticas.

⁸¹ Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. *Sistema Nacional de Información Ambiental y Recursos Naturales*. Dimensión Ambiental, Residuos. En línea:

<http://www.semarnat.gob.mx/informacionambiental/Pages/index-sniarn.aspx>

⁸² IPCC. *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Volume 5: Waste*. En línea:

<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.html>

⁸³ Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos. Artículo 5.



metano en sitios de relleno.⁸⁴ Sin embargo, ninguno de estos proyectos ha sido desarrollado en Sonora. Consecuentemente, las emisiones modeladas simulan la descarga total del metano liberado durante la descomposición de la materia orgánica emplazada.

Combustión de residuos sólidos urbanos

Según el personal de la CEDES, no se han reportado fuentes de combustión de residuos sólidos urbanos en Sonora.⁸⁵

La quema a cielo abierto de residuos sólidos urbanos en domicilios particulares (Ej. en tambos dentro del terreno de las viviendas) también contribuye a las emisiones de GEI. El Inventario Nacional de Emisiones 2002 de la EPA presenta estimaciones sobre la cantidad de residuos quemados por persona en sitios de tipo residencial.⁸⁶ Las emisiones procedentes de la quema a cielo abierto se calcularon usando los datos de población de Sonora para el lapso de 1990 al 2025, así como los factores de emisión del SIT y las características de los residuos. Las estimaciones del 2006 en adelante se calcularon usando las características de los residuos contempladas en el SIT para el 2005. Las emisiones futuras de la quema de residuos a cielo abierto en viviendas se calcularon usando el índice de crecimiento de población proyectado (2005-2025),⁸⁷ que es el 0.91%.

Gestión de aguas residuales

También se calcularon las emisiones de GEI derivadas del tratamiento de aguas residuales municipales. En el caso del tratamiento de aguas residuales municipales, las emisiones se calcularon con la herramienta SIT de la EPA con base en la población estatal, la demanda biológica de oxígeno (DBO) supuesta, el consumo de proteína per cápita, y los factores de emisión del N₂O y el CH₄. Los valores por defecto principales del SIT se indican a continuación en el Cuadro G-1.

Cuadro G-1. Valores principales del SIT por defecto para el tratamiento de aguas residuales municipales

Variable	Valor por defecto
DBO	0.09 kilogramo (kg) /día /persona
Factor de emisión del CH ₄	0.6 kg/kg DBO
Factor de emisión del N ₂ O en el tratamiento de aguas	4.0 g N ₂ O/persona/año
Factor de emisión de biosólidos	0.01 kg N ₂ O-N/kg drenaje-N

Fuente: SIT de la EPA – Módulo de aguas residuales

El porcentaje de habitantes de Sonora que cuentan con servicio municipal de drenaje es el 93%, conforme a los datos sobre el número de viviendas por zona habitacional indicados en el Censo

⁸⁴ UNFCCC, 2009. CDM Project Search. <http://cdm.unfccc.int/Projects/projsearch.html>. Reference retrieved from Climate Action Reserve. *Protocolo de Reporte de Proyectos en Rellenos Sanitarios en México Recolección y Destrucción del Metano de los Rellenos Sanitarios; Versión 1.0*. March 2009

⁸⁵ Con base en las investigaciones realizadas por el Ing. Francisco Maytorena de la CEDES, mayo de 2008.

⁸⁶ EPA, ftp://ftp.epa.gov/EmisInventory/2002finalnei/documentation/nonpoint/2002nei_final_nonpoint_documentation0206version.pdf.

⁸⁷ Tercera Comunicación Nacional ante la Convención de las Naciones Unidas.



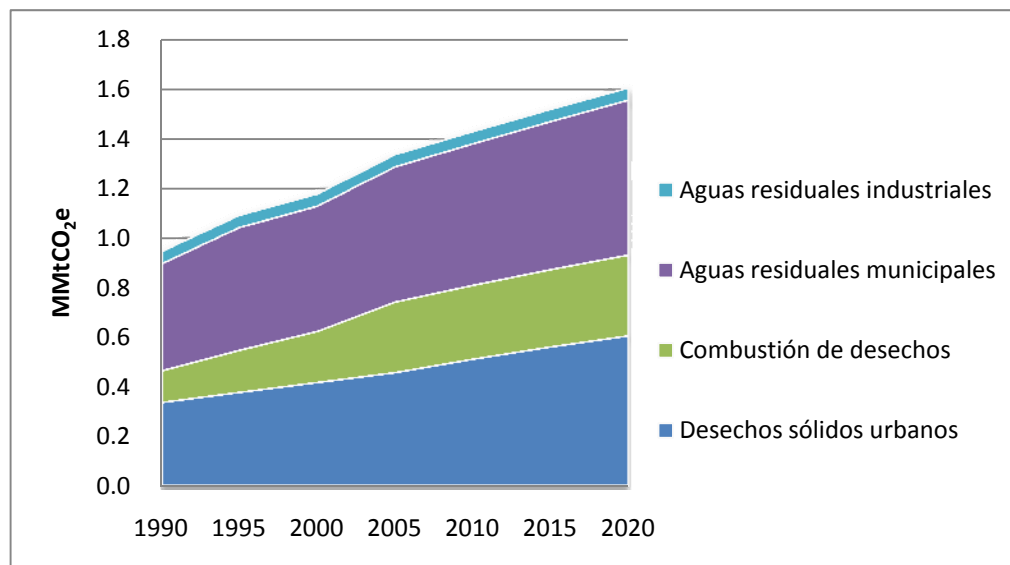
2005 de población y vivienda.⁸⁸ En el caso de Sonora, la cantidad de DBO digerida en forma anaeróbica representa el 41%, según datos de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA).⁸⁹ La cantidad tratada en las plantas de tratamiento mecánicas es aproximadamente el 29%. El sesenta y uno por ciento de las aguas residuales municipales se tratan en lagunas anaeróbicas, el 10% en digestores anaeróbicos de lodos residuales, y el 0.2% en sistemas sépticos. Las emisiones de aguas residuales municipales se proyectaron con base en el índice de crecimiento de población proyectado para el lapso de 2005 al 2025, con un índice de crecimiento de 0.91% anual.

En el caso de las emisiones de aguas residuales industriales, el SIT presenta supuestos por defecto y factores de emisión para estos tres sectores industriales: Frutas y Verduras, Carnes Rojas y Aves, y Pulpa y Papel. La CONAGUA proporcionó datos sobre el procesamiento de carnes rojas.⁹⁰ No se contó con datos sobre el procesamiento de frutas y verduras, o de aves. En el estado no se procesa pulpa o papel. Los datos de flujo actual de aguas residuales industriales se usaron para calcular todos los años históricos, de 1990 al 2005. Los factores de emisión del SIT se usaron para calcular las emisiones de la producción de carnes rojas. Las emisiones hasta el 2025 se proyectaron con base en un índice de crecimiento anual de 0.0% para el periodo 1990-2005.

Resultados

La Figura G-1 y el Cuadro G-2 muestran la estimación de las emisiones del sector de gestión de residuos. En general, este sector representó 1.58 MTmCO₂e en el 2005, y se calcula que las emisiones serán del orden de 1.91 MTmCO₂e/año en el 2025.

Figura G-1. Emisiones de GEI derivadas la gestión de residuos en Sonora, México 1990-2025



Fuente: Con base en el enfoque descrito en el texto.

⁸⁸ Consultado en mayo de 2008 en: <http://www.inegi.gob.mx/est/contenidos/espanol/sistemas/conteo2005/iter2005/selentcampo.aspx>

⁸⁹ Información obtenida de CONAGUA y proporcionada a CCS por la CEDES.

⁹⁰ Ver la nota a pie de página No. 6.

Cuadro G-2. Emisiones de GEI derivadas la gestión de residuos en Sonora (MTmCO₂e)

Fuente	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020
Residuos sólidos urbanos	0.34	0.38	0.42	0.46	0.51	0.56	0.61
Combustión de residuos	0.13	0.17	0.21	0.29	0.30	0.31	0.33
Aguas residuales municipales	0.43	0.50	0.51	0.55	0.57	0.60	0.63
Aguas residuales industriales	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Total	0.95	1.09	1.18	1.34	1.43	1.52	1.61

Cuadro G-3. Distribución de las emisiones de GEI en el sector gestión de residuos

Fuente	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020
Residuos sólidos urbanos	36%	35%	35%	34%	36%	37%	38%
Combustión de residuos	14%	16%	18%	21%	21%	21%	20%
Aguas residuales municipales	46%	45%	43%	41%	40%	39%	39%
Aguas residuales industriales	5%	5%	4%	4%	3%	3%	3%
Total	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

En el 2005, alrededor del 41% de las emisiones del sector de gestión de residuos las aportaron los sistemas de tratamiento de aguas residuales municipales, mientras que el 34% lo aportaron los sitios de relleno. Para el 2025, se espera que los sectores de tratamiento de aguas residuales municipales aporten un 39% y los sitios de relleno incrementen a un 38%. Las emisiones generadas por la combustión de residuos contribuyeron un 21% a las emisiones del sector de residuos en el 2005, y se prevé que para el 2025 permanezcan a un 20%.

Incertidumbres principales

Según las directrices del IPCC 2006, el modelo de emisiones a base de una ecuación de descomposición de primer orden contiene algunas incertidumbres inherentes:

- La descomposición de los compuestos carbonados en metano implica una serie de reacciones químicas complejas que puede no seguir siempre una reacción de descomposición de primer orden. Puede haber reacciones de orden superior involucradas y las velocidades de reacción pueden variar con las condiciones en los SEDS específicos. Las reacciones pueden estar limitadas por el acceso restringido al agua y a variaciones locales de la población bacteriana.
- Los sitios de relleno sanitario son heterogéneos. Las condiciones tales como la temperatura, humedad, composición de los residuos y el compactado varían considerablemente aún dentro de un sitio único, y aún más entre los diferentes sitios de un país. La selección de valores “promedio” para los parámetros que sean típicos para todo un país es difícil.

- El uso del método FOD introduce incertidumbres adicionales asociadas con las tasas de descomposición (vidas medias) y con las cantidades históricas de residuos eliminados. Ninguno de estos factores es bien comprendido ni investigado exhaustivamente.

Otro aspecto de incertidumbre es la calidad de los datos de actividad. Registros de emplazamiento para todos los sitios de relleno del estado no fueron disponibles. Alternamente, se usaron los datos de emplazamiento publicados por SEMARNAT los cuales son estimados basados en estadísticas de población y una tasa de generación de residuos por cápita.

Para calcular las emisiones residenciales a cielo abierto se usaron los supuestos por defecto de la herramienta SIT sobre la composición de los residuos, optimizados para residuos sólidos urbanos. Las cantidades de residuos quemados a cielo abierto en sitios residenciales se calcularon usando la metodología del Inventario Nacional de Emisiones de EE. UU. (*National Emission Inventory*, NEI) y con base en la población total de Sonora. Dependiendo de las tasas reales de consumo de energía y la composición de los residuos, las cifras podrían estar sobrestimadas o subestimadas. Las emisiones derivadas de la quema a cielo abierto de residuos de jardín no se calcularon, pero se prevé que serían pocas (en el caso de los residuos de jardín, únicamente serían de interés las emisiones de CH₄ y N₂O, ya que el CO₂ sería de origen biogénico).

En cuanto al sector de aguas residuales, las incertidumbres principales se relacionan con la aplicación de los valores por defecto del SIT para los parámetros indicados en el Cuadro G-1. Dado que el metano adicional se está generando fuera del proceso de digestión anaeróbica, estas emisiones estarían subestimadas. Las emisiones potenciales del lodo residual de las plantas de tratamiento que se aplica a la superficie de los rellenos sanitarios no se cuantificaron en este inventario.

En el caso de las aguas residuales industriales, únicamente se calcularon las emisiones de la industria de carnes rojas usando datos estatales. No se contó con datos sobre el procesamiento de frutas y verduras, ni sobre plantas procesadoras de aves. Por lo tanto, es probable que las emisiones procedentes de aguas residuales industriales hayan sido ligeramente subestimadas.

[Esta página se dejó en blanco intencionalmente.]

Apéndice H. Silvicultura y Uso de Suelo

Descripción general

Las emisiones procedentes de la silvicultura y el uso de suelo se refieren al flujo de dióxido de carbono (CO₂)⁹¹ proveniente de las zonas boscosas de Sonora, las cuales constituyen alrededor del 35% de la superficie territorial del Estado.⁹² Para seleccionar el tipo de vegetación que se consideraría en la cuantificación de la reserva de carbono en terrenos forestales, se usó la definición de "bosque" adoptada por la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR).⁹³ Los tipos de bosques predominantes en Sonora son el mezquital, el bosque de encino, y la "selva baja caducifolia" (bosque seco subtropical), que representan el 31.6%, 25.3%, y 21.7% del total de las tierras forestales, respectivamente. En el Cuadro H-1 se presentan datos adicionales sobre la distribución de la tierra.

Cuadro H-1. Distribución de tierras forestales

Año	Tipo de bosque	Superficie (ha)	Fracción
2003	Mezquital	1,952,334	31.6%
2003	Bosque de Encino	1,563,093	25.3%
2003	Selva Baja Caducifolia	1,339,854	21.7%
2003	Selva Baja Caducifolia con Vegetación Secundaria Arbustiva	478,682	7.8%
2003	Selva Baja Espinosa	417,934	6.8%
2003	Bosque Bajo Abierto	201,950	3.3%
2003	Bosque de Pino con Encino	170,146	2.8%
2003	Bosque de Tásate	21,048	0.3%
2003	Bosque de Pino	18,483	0.3%
2003	Manglar	7,770	0.1%
2003	Bosque de Encino con Pino	3,387	0.1%
2003	Bosque de Encino con Vegetación Arbustiva	1,500	0.0%
2003	Bosque Bajo Abierto con Vegetación Secundaria Arbustiva	237	0.0%

A través de la fotosíntesis, los árboles y las plantas toman el dióxido de carbono y lo convierten en biomasa forestal. Las emisiones de dióxido de carbono se derivan de la respiración en los árboles vivos, la desintegración de la biomasa sin vida, y la combustión (tanto de incendios forestales como de biomasa extraída de los bosques para consumo energético). Asimismo, cuando se cosecha la biomasa forestal para su uso en productos de madera durables, el carbono se almacena durante largo tiempo. El flujo de dióxido de carbono es el balance neto entre las extracciones de dióxido de carbono de la atmósfera y las emisiones hacia la misma, proveniente de los procesos anteriormente descritos.

⁹¹ El término "flujo" se refiere tanto a las emisiones de CO₂ hacia la atmósfera, como a la extracción de CO₂ de la atmósfera (sumideros).

⁹² La CEDES recabó información detallada sobre la cobertura forestal. Se obtuvieron del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) datos generales sobre uso de suelo, superficie estatal, y tipo de vegetación. Datos disponibles en <http://www.inegi.gob.mx/inegi/default.aspx?s=est>. La superficie total de bosques en el 2003 comprendió 6,176,419 hectáreas; el Estado de Sonora abarca una superficie total de 17,837,500 hectáreas.

⁹³ La definición de "bosque" que considera la Comisión Nacional Forestal se usó para filtrar las categorías generales de vegetación para las categorías forestales (Consultado en mayo de 2008 en: http://148.223.105.188:2222/snif_portal/index.php?option=com_content&task=view&id=12&Itemid=7#matorrales).



El flujo de CO₂ en el sector de emisiones forestales y por uso de suelo se clasifica en dos subsectores principales:

- *Zonas arboladas [Categorías del IPCC: Tierras forestales que permanecen como tierras forestales y Terrenos convertidas a tierras forestales]:* consiste en el flujo de carbono que se presenta en terrenos que no forman parte del paisaje urbano. Los flujos que se contemplan son el secuestro neto de carbono, el carbono almacenado en los productos de madera cosechada (PMC), y las emisiones generadas por los incendios forestales y la quema prescrita.
- *Silvicultura urbana y uso de suelo [Categorías del IPCC: Asentamientos que permanecen como asentamientos y Terrenos convertidos a asentamientos]:* se refiere al secuestro de carbono en zonas arboladas urbanas, el flujo asociado con el almacenamiento de carbono de los residuos de jardinería que llegan a los rellenos sanitarios, y las emisiones de óxido nitroso (N₂O) procedentes de los suelos con asentamientos (los que ocurren a consecuencia de la aplicación de fertilizantes sintéticos).

Inventario y proyecciones de los casos de referencia

Metodología

Las Directrices del IPCC de 2006 para Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero (IPCC 2006) plantean dos métodos para calcular el flujo de carbono. Con base en la información disponible sobre Sonora, se adoptó el método de "ganancia-pérdida", mediante el cual el cambio anual en las reservas de carbono en la biomasa de terrenos forestados se expresa como el incremento anual en las reservas de carbono debido al crecimiento de la biomasa menos la reducción anual de las reservas de carbono debido a la pérdida de biomasa:

$$\Delta C_B = \Delta C_G - \Delta C_L$$

En donde:

ΔC_B = cambio anual en las reservas de carbono en la biomasa considerando el área total, expresado en toneladas de C/año

ΔC_G = incremento anual en las reservas de carbono debido al aumento de biomasa en cada subcategoría de tierras considerando el área total, expresado en toneladas de C/año

ΔC_L = reducción anual en las reservas de carbono debido a la pérdida de biomasa en cada subcategoría de tierras considerando el área total, expresada en toneladas de C/año

El incremento anual en las reservas de carbono debido al aumento de biomasa (ΔC_G) se calcula para cada tipo de vegetación como el producto de la superficie de tierra (A), el crecimiento medio anual de la biomasa de la materia seca (G_{TOTAL}), y la fracción de carbono de la materia seca (CF). En cada tipo de vegetación, el crecimiento medio anual de la biomasa se deriva de la función del promedio del crecimiento de la biomasa aérea y subterránea. El crecimiento anual de la biomasa se expresa de la siguiente manera.

$$\Delta C_G = \sum A_i \cdot G_{TOTALi} \cdot CF_i$$

Se deben considerar varios factores al calcular la reducción anual de las reservas de carbono derivada de la pérdida de biomasa (ΔC_L), incluyendo la explotación de productos de madera, la extracción de leña de los bosques, y las pérdidas de reservas de carbono derivadas de alteraciones tales como incendios o plagas. Se calcularon las disminuciones en las reservas de carbono debidas a alteraciones y la explotación de la madera; sin embargo, no se contó con información relacionada con la extracción de leña para combustible. Por lo tanto, la reducción anual en las reservas de carbono se calculó como la suma de las pérdidas de carbono debidas a alteraciones ($L_{alteración}$) y a la extracción de madera ($L_{extracción}$), conforme a la siguiente ecuación:

$$\Delta C_L = L_{extracción} + L_{alteración}$$

En el método de "ganancia-pérdida" se usaron los factores de emisión por defecto de IPCC 2006 específicos para el clima dominante, la zona ecológica y el continente, junto con datos de actividad de Sonora. Entre los datos de actividad se contó con un perfil de la vegetación de los terrenos indicados en el Cuadro H-1, la superficie forestal alterada por incendios y los registros anuales de la explotación para la fabricación de productos de madera.

La CEDES obtuvo y compiló información sobre vegetación a partir de los levantamientos topográficos realizados en 1999 y el 2003 por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI).⁹⁴ Para complementar los datos históricos faltantes, se supuso que el área media anual en el periodo 1990-2002 fue igual a la del año 1999. Asimismo, se supuso que el área media anual del periodo 2004-2020 sería igual a la del 2003. Además, CONAFOR planteó criterios para determinar qué tipo de vegetación se puede considerar como tierra forestada⁹⁵ y CCS llevó a cabo la tarea de correlacionar las categorías forestales de CONAFOR con las del IPCC 2006. Las descripciones disponibles de terrenos forestales con categorías de CONAFOR e IPCC 2006 de los años del inventario se muestran en el Cuadro H-2. En el Cuadro H-3 se indica el incremento anual de bajo rango en los factores de la biomasa (G_{TOTAL}), correlacionado con el tipo forestal.⁹⁶

⁹⁴ <http://www.inegi.gob.mx/inegi/default.aspx>

⁹⁵

http://148.223.105.188:2222/snif_portal/index.php?option=com_content&task=view&id=12&Itemid=7#matorrales

⁹⁶ G_{TOTAL} es el producto del crecimiento neto de la biomasa aérea y la proporción entre la biomasa subterránea y la biomasa aérea. En el Cuadro 4.9, Capítulo 4, Volumen 4 de las directrices del IPCC se mencionan los valores del crecimiento neto de la biomasa aérea en los bosques naturales, expresados como un rango de valores plausibles. A fin de poder contar con una estimación conservadora sobre los sumideros de carbono, se seleccionaron los valores del extremo inferior.



Cuadro H-2. Descripción de tierras forestales y cobertura

Dominio climático (i)	Zona ecológica (j)	Tipo de bosque	1999 (ha)	2003 (ha)
Sub-tropical	Bosque seco	Bosque de Táscate	19,739	21,048
		Mezquital	1,906,213	1,952,334
		Selva Baja Caducifolia	1,829,987	1,339,854
		Selva Baja Caducifolia con Vegetación Sec. Arbustiva		478,682
		Selva Baja Espinosa	434,965	417,934
	Sistema Montañoso	Bosque Bajo Abierto	200,699	201,950
		Bosque Bajo Abierto con Vegetación Sec. Arbustiva		237
Templado	Sistema montañoso	Bosque de Encino	1,445,964	1,563,093
		Bosque de Encino con Pino	1,753	3,387
		Bosque de Encino con Vegetación Arbustiva		1,500
		Bosque de Pino	11,206	18,483
		Bosque de Pino con Encino	184,204	170,146
Tropical	Matorral	Manglar	12,202	7,770

Cuadro H-3. Incremento anual en la biomasa

Tipo de bosque	G total (toneladas m.s./ha/año)
Bosque Bajo Abierto	2.30
Bosque Bajo Abierto con Vegetación Secundaria Arbustiva	2.30
Bosque de Encino	0.62
Bosque de Encino con Pino	0.63
Bosque de Encino con Vegetación Arbustiva	0.63
Bosque de Pino	0.65
Bosque de Pino con Encino	0.62
Bosque de Táscate	1.42
Manglar	1.40
Mezquital	1.42
Selva Baja Caducifolia	1.22
Selva Baja Caducifolia con Vegetación Secundaria Arbustiva	1.22
Selva Baja Espinosa	1.22

Se obtuvo de CONAFOR información sobre incendios forestales entre 1994 y 2004⁹⁷. Para los demás años del periodo de 1990 al 2020, se calculó una superficie promedio usando los cinco valores históricos inmediatos. El Cuadro H-4 muestra el área alterada por los incendios forestales por tipo de bosque, conforme a las categorías del IPCC 2006. Las pérdidas en las reservas de carbono debidas a alteraciones relacionadas con incendios se calcularon usando las cifras de conversión por defecto que se incluyen el Cuadro H-5, como se indica a continuación:

$$L_{alteración} = \{Alteración \cdot BW \cdot (1 + R) \cdot CF \cdot fd\}$$

En donde:

$L_{alteraciones}$ = otras pérdidas de carbono anuales, expresadas en toneladas de C /año

⁹⁷ Consultado en mayo de 2008 en:

<http://www.semamat.gob.mx/gestionambiental/forestalysuelos/Pages/anuariosforestales.aspx>



$A_{alteración}$ = área afectada por las alteraciones, en ha/año

B_w = promedio de biomasa aérea en tierras afectadas por las alteraciones, expresado en toneladas de m.s./ha

R = relación entre la biomasa subterránea y la biomasa aérea, en la que (toneladas de m.s. subterránea) / (toneladas de m.s. aérea).

CF = fracción de carbono de la materia seca, expresada en toneladas de C / (toneladas de m.s.)

fd = fracción de la biomasa perdida en la alteración, el supuesto es 90%

Cuadro H-4. Área alterada por incendios expresada en hectáreas

Dominio climático y Código de zona	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Bosque seco subtropical	1631	2576	2423	1557	569	1032	5731	2245	9376	538	400
Estepa subtropical	4203	2092	4297	3588	1194	9842	2400	1380	6689	5873	3914
Sistema montañoso templado <20 años	519	519					1675	314	1301	672	0
Sistema montañoso templado <20 años	3122	2448	3833	2539	2530	4261	3904	2799	3634	2981	2979

Cuadro H-5. Factores de conversión de área forestal a contenido de carbono

Dominio climático (i)	Zona ecológica (j)	B W (ton ms/ha)	Prom. de R^{98} (ton raíz/ton vástagos)	Prom. de CF^{99} (ton C/ton ms)
Subtropical	Bosque seco	210	0.30	0.46
Subtropical	Estepa	70	0.32	0.47
Templado	Sistema montañoso <20 años	50	0.25	0.49
Templado	Sistema montañoso <20 años	130	0.25	0.49

Finalmente, del Anuario Estadístico de la Producción Forestal, publicado por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) sobre los años de 1995 al 2004.¹⁰⁰ se obtuvo información sobre la cosecha de madera. El Cuadro H-6 indica el volumen de la cosecha de madera por tipo de bosque. A los demás años del lapso de 1990 a 2020 se les aplicó una masa promedio de madera cosechada derivada de los datos disponibles. La masa de la madera cosechada se calculó como el producto de la densidad de la madera y el volumen de producción forestal maderable.

⁹⁸ Se contó con información sobre incendios forestales en el nivel de segregación del dominio climático y la zona ecológica. Por este motivo los valores R , que normalmente son específicos para tipos específicos de bosques, se promediaron considerando todos los tipos de bosques en un dominio climático y una zona ecológica determinados.

⁹⁹ Se contó con información sobre incendios forestales en el nivel de segregación del dominio climático y la zona ecológica. Por este motivo los valores R , que normalmente son específicos para tipos específicos de bosques, se promediaron considerando todos los tipos de bosques en un dominio climático y una zona ecológica determinados.

¹⁰⁰ Consultado en mayo de 2008 en:

<http://www.semarnat.gob.mx/gestionambiental/forestalysuelos/Pages/anuariosforestales.aspx>



Cuadro H-6. Volumen de producción forestal maderable en metros cúbicos

Tipo de bosque	Año									
	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Encino / Oak	316	12,757	20,770	17,310	28,396	29,759	19,111	18,794	23,217	27,238
Pino / Pine	37,493	45,697	41,682	32,477	40,531	61,704	36,492	1,444	18,899	13,432
Latifoliadas / Elm	47,781	55,493	52,513	60,213	56,759	95,699	106,397	92,712	38,768	66,958

Zonas arboladas

Los datos subyacentes, como se muestra en el Cuadro H-7, exponen un incremento neto anual en las reservas de carbono de las zonas boscosas de Sonora. En comparación con el vecino estado de Baja California, las reservas de carbono de Sonora son cuatro veces mayores (416%) y tienen un mayor rendimiento de productos maderables (456%).¹⁰¹

Cuadro H-7. Cambio anual en las reservas de carbono en la biomasa (toneladas métricas de carbono)

Parámetro	1990	1995	2000	2005
ΔC_G	-3,270,549	-3,270,654	-3,270,865	-3,321,949
ΔC_L	1,030,787	782,869	1,555,075	1,026,645
$\Delta C_{biomasa}$	-2,239,762	-2,487,784	-1,715,790	-2,295,303

Los números positivos indican las emisiones netas; los números negativos indican el secuestro de carbono.

En las zonas arboladas de Sonora, el crecimiento anual de la biomasa superó la pérdida de ésta, secuestrando así carbono de la atmósfera. El grado de secuestro del carbono expresado en millones de toneladas métricas de dióxido de carbono equivalente se muestra en el Cuadro H-8.

Cuadro H-8. Cambio anual en las reservas de carbono de la biomasa de zonas arboladas (MTmCO₂e)

Parámetro	1990	1995	2000	2005
ΔC_G	-11.99	-11.99	-11.99	-12.18
ΔC_L	3.78	2.87	5.70	3.76
$\Delta C_{biomasa}$	-8.21	-9.12	-6.29	-8.42

Los números positivos indican las emisiones netas; los números negativos indican el secuestro de carbono. Es posible que los totales no den una suma exacta, debido al redondeo. MTmC = millones de toneladas métricas de carbono. Los números positivos indican las emisiones netas. El cambio en las reservas expresado en MTmC se convirtió en MTmCO₂e multiplicándolo por 44/12.

La biomasa que se quema en los incendios forestales emite dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), y óxido nitroso (N₂O), además de muchos otros gases y contaminantes. Dado que en los cálculos anteriores sobre flujo de carbono total ya están computadas las emisiones de dióxido de

¹⁰¹ Las reservas de carbono en Baja California fueron 1,795,000 toneladas métricas de carbono en el 2005 según el Centro Mario Molina. *Inventario Estatal de Gases de Efecto Invernadero*. Versión final: Secretaría de protección al ambiente del gobierno del estado de Baja California: Diciembre, 2007. La producción forestal maderable fue de 4,783 y 21,379 toneladas en 2003 para Baja California y Sonora, respectivamente, según el Anuario Estadístico de la Producción Forestal publicado por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), disponible en <http://www.semarnat.gob.mx/gestionambiental/forestalysuelos/Pages/anuariosforestales.aspx>.



carbono, CCS usó la Herramienta de la EPA para inventarios estatales de gases de efecto invernadero (SIT, por sus siglas en inglés) para determinar las emisiones de metano y óxido nítrico. En el Cuadro H-9 se expone la correlación entre las categorías forestales del SIT y del IPCC 2006 y los factores de emisión asociados. Los cálculos indican que las emisiones de GEI distintas al CO₂ derivadas de incendios forestales son insignificantes. En el Cuadro H-10 se indican las emisiones en toneladas métricas por año de MTmCO₂e combinadas.

Cuadro H-9. Correlación entre los tipos de vegetación del IPCC 2006 y la EPA

IPCC 2006		SIT de la EPA	
Dominio climático (i)	Zona ecológica (j)	Tipo de vegetación 1	Tipo de vegetación 2
Sub-tropical	Bosque seco	Bosque	Sabana arbolada seca
Sub-tropical	Bosque húmedo	Bosque	Sabana arbolada húmeda
Sub-tropical	Sistema montañoso	Bosque	Otro bosque templado
Sub-tropical	Estepa	Sabana	Matorrales
Templado	Sistema montañoso	Bosque	Otro bosque templado
Tropical	Matorrales	Sabana	Bosque tropical terciario

Cuadro H-10. Emisiones de metano y óxido nítrico derivadas de incendios forestales

GEI	1990	1995	2000	2005
CH ₄ (toneladas métricas)	7.34	6.74	13.51	8.87
N ₂ O (toneladas métricas)	0.1	0.1	0.19	0.14
Total de tCO₂e	185	172	343	228
Total de MTmCO₂e	1.85E-04	1.72E-04	3.43E-04	2.28E-04

Silvicultura urbana y uso de suelo

Según la herramienta SIT de la EPA, "los cambios en las reservas de carbono en zonas urbanas son equivalentes al crecimiento de árboles menos las pérdidas de biomasa resultantes de la poda y la mortalidad".¹⁰² Aunque sí se dispuso de información para calcular el crecimiento de la biomasa de la silvicultura urbana, no se pudo obtener información acerca de las pérdidas de biomasa (incluyendo el flujo asociado con el almacenamiento de carbono de los residuos de jardinería que se envían a los rellenos sanitarios). Sin datos que indiquen las pérdidas de biomasa en la silvicultura urbana, CCS no pudo calcular el flujo de carbono en este subsector. De acuerdo a la información proporcionada por el CEDES, la zona urbana de los cinco municipios más grandes de Sonora constituye el 18% de la superficie terrestre del Estado (ver Cuadro H-11). Dada la considerable magnitud del uso de suelo urbano en Sonora, en inventarios posteriores deberán evaluarse más minuciosamente la cubierta forestal urbana y los flujos de carbono que se asociados.

Los datos antes mencionados sobre la biomasa urbana depositada en rellenos sanitarios también se podrían usar para calcular el almacenamiento de carbono en ellos. En los trabajos de inventario posteriores se deben tomar en cuenta la cantidad de biomasa forestal urbana y los residuos de jardinería que se han depositado en rellenos sanitarios.

Tampoco se contó con información para calcular las emisiones de óxido nítrico de zonas arboladas urbanas (las cuales se presentan a consecuencia de la aplicación de fertilizantes

¹⁰² Módulo de cambio de suelos y silvicultura de SIT, Sección 4.

sintéticos). Es probable que este subsector de emisiones aporte muy poco a las emisiones de GEI en general, debido a la limitada cantidad de pastos, campos de golf, u otras áreas urbanas similares en las que pudieran aplicarse fertilizantes sintéticos.

Cuadro H-11. Cobertura de la zona urbana en los municipios más grandes de Sonora

Municipio	Área (km ²)	Fracción
Sonora	178,375	100.0%
Hermosillo	14,285	8.0%
Guaymas	10,009	5.6%
Cajeme	3,565	2.0%
Navojoa	3,023	1.7%
Nogales	1,589	0.9%
Total	32,470	18.2%

Resultados

En el Cuadro H-12 se presenta el resumen del flujo de carbono que obedece a las prácticas de silvicultura y uso de suelo. El análisis de los registros históricos indica que 1) el crecimiento de la biomasa en las zonas arboladas de Sonora excede la reducción debido a las alteraciones (incendios forestales) y a la explotación de productos maderables combinados, y 2) la pérdida de biomasa se puede atribuir en gran parte a las actividades de explotación de productos maderables. Un dato importante y potencialmente significativo que falta es la cantidad de madera cosechada para usarse como combustible.

La proyección del flujo de carbono se calculó considerando tres supuestos básicos. Primero, se proyectó que la superficie cubierta por zonas arboladas permanecería constante, a los niveles estudiados en el 2003. En segundo lugar, se supuso que la explotación de productos maderables sería equivalente a la masa promedio de madera que se extrajo durante el periodo de 1995 al 2004. En tercer lugar, se supuso que el área afectada por incendios forestales cada año sería igual a la superficie promedio alterada por incendios durante el periodo de 1999 al 2004.

Cuadro H-12. Flujo de carbono en silvicultura y uso de suelo y Proyecciones de casos de referencia (MTmCO₂e)

Subsector	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020
Tierras forestadas	-8.21	-9.12	-6.29	-8.42	-7.96	-7.96	-8.69
Bosques Urbanos	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Total	-8.21	-9.12	-6.29	-8.42	-7.96	-7.96	-8.69

Incertidumbres principales

De acuerdo a las Directrices del IPCC de 2006, el sector de Silvicultura y Uso de suelo incluye seis categorías de uso de suelo: 1) tierras forestales¹⁰³, 2) tierras de cultivo, 3) pastizales, 4) humedales, 5) asentamientos,¹⁰⁴ y 6) otras tierras. Los humedales no representan uno de los principales usos de suelo en Sonora. Las emisiones procedentes de las tierras de cultivo están

¹⁰³ Esta categoría de uso de suelo se denomina "Tierras forestales" en el documento guía de las Directrices de IPCC de 2006, mientras que en este apéndice aparece como "zonas arboladas".

¹⁰⁴ Esta categoría de uso de suelo se denomina "Asentamientos" en el documento guía de las Directrices de IPCC de 2006, mientras que en este apéndice aparece como "silvicultura urbana y uso de suelo".



cubiertas en el Sector Agrícola, mientras que las categorías de la uno a la cinco (excepto la tres) se abordan en este apéndice. La categoría tres no se aborda en este apéndice, sin embargo, se podría incluir en las siguientes ediciones, ya que sí se puede disponer fácilmente de información sobre la superficie de pastizales disponible. El inventario se puede detallar aún más si se aprovechan los recursos disponibles, como las imágenes satelitales, especialmente en el caso de los pastizales, los asentamientos, y otros usos de suelo que incluyen los "matorrales", una forma de vegetación muy difundida en Sonora, que se excluye por definición.¹⁰⁵ Para proceder a ampliar este sector, sería necesario aplicar más recursos para correlacionar los juegos de datos de 1999 y 2003. Existe incertidumbre acerca de la información sobre el uso de suelo en 1999 y 2003 que se presenta parcialmente en el Cuadro H-2 Los datos correspondientes a 1999 no están completos en lo que respecta a todos usos de suelo, y se observan diferencias considerables entre algunos de estos usos de suelo en 1999 y el 2003.

Existe mucha incertidumbre en cuanto a la selección de los valores de crecimiento neto de la biomasa aérea. En el Cuadro 4.9, Capítulo 4, Volumen 4 de las Directrices del IPCC de 2006, estos valores en los bosques naturales se expresan como una amplia gama de valores plausibles. Con el fin de hacer una estimación conservadora de los sumideros de carbono, se seleccionaron los valores del extremo bajo; sin embargo, es necesario verificar esta suposición. La selección de los valores medios generó las estimaciones sobre el secuestro de carbono que se indica en el Cuadro H-13.

Cuadro H-13. Flujos y proyecciones de casos alternos sobre silvicultura y uso de suelo (MTmCO₂e)

Subsector	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020
Zonas arboladas	-23.63	-24.54	-21.71	-24.37	-23.91	-23.91	-24.65
Silvicultura y uso de suelo	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Total	-23.63	-24.54	-21.71	-24.37	-23.91	-23.91	-24.65

Se deben considerar varios procesos que contribuyen a la reducción anual de las reservas de carbono como consecuencia de la pérdida de biomasa, incluyendo la explotación de productos maderables, la extracción de madera combustible, y las pérdidas de reservas de carbono que obedecen a alteraciones tales como incendios o plagas de insectos. En el caso de Sonora, no se pudo disponer de información acerca de la disminución anual de las reservas de carbono a consecuencia de la extracción de madera combustible, pero esta información podría tener un impacto considerable sobre la estimación del flujo de carbono. Asimismo, en estas estimaciones no se consideró la pérdida de carbono debido a la infestación por insectos.

También existe alguna incertidumbre asociada a la correlación entre las categorías de vegetación que usa CONAFOR y las que se usan en los documentos guía de IPCC 2006. El ajuste consistió en reducir las trece categorías de vegetación específicas para México a cuatro categorías expresadas como la función del dominio climático (Ej. subtropical, templado) y las zonas ecológicas (Ej. bosque seco, estepa). Aunque es necesario para obtener las estimaciones de emisiones en el Nivel 1¹⁰⁶, el ejercicio de correlación genera un grado de incertidumbre que

¹⁰⁵ Ver la nota al pie de página No. 3.

¹⁰⁶ En las Directrices del IPCC de 2006 los métodos de Nivel 1 se refieren a enfoques para la cuantificación de emisiones en los que se usan factores de emisión publicados, en lugar de valores específicos para el país o la región.

podría reducirse bastante si se contara con los resultados de estudios específicos sobre el estado o el país.

Apéndice I. Recomendaciones del INE para la siguiente actualización de los Inventarios de GEI

Con oficio del 5 de agosto del 2010, el INE emitió algunas recomendaciones para ser tomadas en cuenta en la siguiente actualización de los Inventarios de GEI. A continuación se presenta parte del oficio del INE con las recomendaciones generales que se hicieron para los documentos revisados correspondientes a los inventarios de los seis estados fronterizos y las recomendaciones específicas para el documento del estado en cuestión.

Comentarios generales sobre los inventarios realizados por el Centro de Estrategias Climáticas de los Estados Unidos

Los inventarios siguieron las metodologías del IPCC 2006, y desde el punto de vista del INE, fueron aplicadas correctamente; con la excepción de la categoría de "Uso de suelo, cambio de uso de suelo y silvicultura", donde CCS reconoce que se tendrá que trabajar más en ella para llegar a ser compatible con el Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (INEGEI). Las emisiones actualmente estimadas por CCS son negativas en este sector; por lo general se espera que sean positivas debido al grado de deforestación y al cambio de uso de suelo. Recomendamos que se trabaje con las instituciones de investigación que están involucradas en el inventario nacional de esta categoría.

Para el cálculo de las emisiones en el sector eléctrico, CCS las cuantificó con base en la electricidad consumida, más las importaciones, menos las exportaciones de electricidad. Este enfoque de estimación es útil para la selección de medidas de mitigación de GEI, cuando se consideran las implicaciones de políticas y acciones que podrían impactar las emisiones provenientes de las plantas de generación de energía, tanto las que están dentro como fuera del estado. Con el fin de presentar los resúmenes de las emisiones totales de cada estado, a través de todas las categorías, se utilizaron los estimados de las emisiones basadas en el consumo eléctrico, excepto cuando se comparan las emisiones estatales contra las del INEGEI, donde se contemplan sólo las emisiones generadas en la zona geográfica.

Recomendaciones generales a los inventarios:

- Verificar las unidades, no han corregido en las gráficas las unidades de MMtCO_2e a MTmCO_2e . (Utilizar sólo sistema internacional)
- Verificar que en todas las tablas y figuras se indiquen las unidades de las cifras.
- Donde dice: "Un Análisis Minucioso a las Dos Sectores Principales: Suministro Eléctrico y Transporte" cambiar por "Un Análisis Minucioso a los Dos Sectores Principales: Suministro Eléctrico y Transporte" (aprox pag. 19)
- Cambiar la palabra segregados a desagregados
- Indicar la fuente de los PIBs utilizados y el año de referencia.
- Cambiar la palabra residuos del cuadro 2 de INE por desechos
- Cambiar donde dice:
"INEGI – Instituto Nacional de Estadísticas, Geografía, e Informática" por "INEGI – Instituto Nacional de Estadística y Geografía"
- Al estimar las emisiones generadas a partir de la electricidad que se importa, se consideró que se generaron con ciclo combinado con base en gas natural, aclarar al lector que esto conlleva un error, por no considerar la contribución de las energías renovables o el uso de combustibles con mayor contenido de carbono en la red eléctrica. Justificar el porqué se considera sólo el factor de emisión del gas natural y no de otro combustible.
- En el cuadro A-3. ¿De dónde sacan el valor de índice de calor? SENER lo define como el equivalente de electricidad en términos secundarios expresado en (MJ/MWh) con un valor de conversión de 3,600. Además falta indicar una operación más para pasar de MW a TJ.
- En la parte de Residencial, Comercial e Industrial (RCI), para gas natural se menciona que se tiene el dato agregado para "residencial, comercial y transporte". Siendo que no se reporta transporte en este sector y si industrial. Dado el caso de que el gas natural si cuenta transporte, ¿Éste se incluye en la fuente de transporte?
- En RCI se estima combustóleo en el sector residencial, pero el Balance Nacional de Energía indica que en este sector, a partir de 1999, no se consume este energético. ¿De donde sacaron la información y qué uso tiene en este sector?
- Indicar la fuente bibliográfica completa e indicarlas en las tablas y figuras si no son de elaboración propia.
Por ejemplo: Al poner las fuentes de información no solo indicar que es de SENER, INEGI, sino que hay que agregar el documento de donde se toma dicha información o la liga en internet.
- Al agregar que la información fue solicitada, poner de qué período se tiene la información y fecha de publicación.
- Indicar en todas las fuentes de emisión los datos de actividad utilizados o estimados en tablas, así como factores de conversión.
- Indicar en todas las fuentes los factores de emisión utilizados en tablas.

- Persiste el uso indiferente de los términos pronóstico y proyección en todo el inventario. Se recomienda indicar que solo son proyecciones.
- Usar correctamente los acrónimos como en el caso del IPCC, usar el mismo en todo el inventario.
- Revisar y corregir todas las siglas del documento.
- Las figuras (gráficas) están rotuladas en inglés, en el caso de la versión en español, rotularlas sólo en español.
- Revisar la redacción (hay algunas palabras que siguen en inglés en los pie de página, hay que traducirlas). Se repiten palabras en el inventario, por ejemplo "de de". (IPCC IPCC).
- Revisar la redacción en español.
- De acuerdo a la metodología del IPCC 2006, en el volumen 5, página 3.25 dice lo siguiente:
"El almacenamiento de carbono a largo plazo en los sitios de eliminación de desechos sólidos (SEDS) se declara como **elemento informativo** en el Sector Desechos. El valor declarado para los desechos derivados de los productos de madera recolectada (desechos de papel y cartón, madera y desechos de jardines y parques) es igual a la variable $1B, \Delta C_{HWP\ SWDS\ DC}$, es decir, el cambio en las existencias de carbono de los productos de madera recolectada (PMR) debidos al consumo doméstico eliminado en los SEDS del país declarante utilizado en el Capítulo 12, Productos de madera recolectada, del Volumen AFOLU)"
Por lo que se aconseja no sumarla en la parte de desechos.
- Comparan el valor de sus emisiones con los de la Tercera Comunicación, se recomienda hacerlo con el valor reportado para el 2005 en la Cuarta Comunicación, INEGI 1990-2006. Las emisiones totales en el año 2005 fueron de 685.117 MtmCO₂e.
 - TOTAL 685.117 MtmCO₂e
 - Energía 61.2%
 - Procesos 8.2%
 - Agricultura 6.6 %
 - USCUSS 10.2%
 - Desechos 13.8%

Observaciones al inventario de Sonora

- Las emisiones del estado por consumo energético cambiaron con respecto a la actualización hecha en Julio de 2008, pasaron de 13.2 a 15.9 MTmCO₂e.
- Las categorías que cambiaron son:

Subcategoría	Julio 2008 (MTmCO ₂ e)	Julio 2010 (MTmCO ₂ e)
Ferrocarril	No se había considerado, el INE sugirió su inclusión	.15
Producción de Cemento	1.56	1.44
Suelos Agrícolas	1.4	1.28

Explicar a qué se deben estos cambios.

- La contribución de cada categoría al inventario de Sonora queda de la siguiente manera:

Categoría	Contribución Julio 2008 (%)	Contribución Julio 2010 (%)

Energía	67	67
Procesos Industriales	9	8
Agricultura	17	17
Uso de suelo, cambio de uso de suelo y silvicultura	0	0
Residuos	7	7

- De los seis inventarios hechos por CCS, el de Sonora sí se apegó a la metodología del PICC en la categoría de "Uso de suelo, cambio de uso de suelo silvicultura", se recomienda como ejemplo para los inventarios de los otros estados.