



**UNIVERSIDAD DE SONORA
DIVISIÓN DE INGENIERÍA**

POSGRADO EN CIENCIAS DE LA INGENIERÍA

**“INVENTARIO DE EMISIONES DE GASES EFECTO
INVERNADERO DEL ESTADO DE SONORA”**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS DE LA INGENIERIA

PRESENTA:

RAMÓN ANTONIO CASTREJÓN LEMUS

HERMOSILLO, SONORA

NOVIEMBRE DE 2009.

Universidad de Sonora

Repositorio Institucional UNISON



**"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"**



Excepto si se señala otra cosa, la licencia del ítem se describe como openAccess



Excepto si se señala otra cosa, la licencia del ítem se describe como openAccess

UNIVERSIDAD DE SONORA

APROBACION DEL JURADO

de la tesis presentada por:

ING. RAMÓN ANTONIO CASTREJÓN LEMUS

Esta tesis ha sido revisada por cada uno de los miembros del Jurado y por mayoría de votos la han encontrado satisfactoria.

03/oct/2009
Fecha


M.C. Jaime Vargla Salazar
Presidente

03/oct/2009
Fecha


M.C. Agustín Montiel Cota
Secretario

03/oct/2009
Fecha


Dr. Guillermo Tiburcio Munive
Vocal

03/oct/2009
Fecha


M.C. Martín Eusebio Cruz Campa
Sinodal Externo

UNIVERSIDAD DE SONORA
AUTORIZACION DEL EXAMEN DE GRADO

Noviembre 10, de 2009.

Por la presente se hace constar que la estudiante **RAMON ANTONIO CASTREJON LEMUS**, ha cumplido satisfactoriamente con los requisitos académicos correspondientes para la realización del Examen de Grado del programa de Maestría en Ciencias de la Ingeniería.



DR. VICTOR MANUEL SANCHEZ CORRALES
COORDINADOR
POSGRADO EN CIENCIAS DE LA INGENIERIA



"UNION DE MIS HIJOS
PARA MI GRANDEZA"
POSGRADO EN CIENCIAS
DE LA INGENIERIA

RESUMEN.

Se calcularon las emisiones antropogénicas de emisiones de gases efecto invernadero (GEI) y los sumideros de carbono de 1990 a 2020. Las estimaciones 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.

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 (CO_2), metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O), hidrofluorocarbonos (HFCs), perfluorocarbonos (PFCs), y hexafluoruro de azufre (SF_6). Las emisiones de estos GEI se presentan usando una métrica común, el CO_2 equivalente (CO_2e), 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.

Las actividades en Sonora constituyeron aproximadamente 19.8 millones de toneladas métricas (MTm) de emisiones brutas de CO_2e (basadas en el consumo) en 2005, equivalentes al 3.0% de las emisiones brutas de GEI de todo el país en el 2005, excluyendo los sumideros de carbono, como reservas de carbono en zonas forestales. En Sonora las emisiones brutas de GEI basadas en el consumo 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.

Asimismo, se realizaron estimaciones iniciales de los sumideros de carbono, de las zonas forestales del estado. Sin embargo, se necesita precisar información para estimar el carbón secuestrado por las zonas arboladas urbanas, los cambios de uso de suelo, y las prácticas de cultivo que generan cambios en los suelos agrícolas. Asimismo, se requiere contabilizar las pérdidas/ganancias en zonas forestales y optimizar las estimaciones sobre sumideros de carbono forestal y agrícola que podrían ocasionar cambios sustanciales en las estimaciones iniciales de este informe. De las estimaciones realizadas tenemos que en el 2005 se almacenaron en la biomasa forestal de Sonora alrededor de 8.42 MTmCO₂e.

Al comparar las emisiones per cápita de GEI, tenemos que en Sonora en 1995, se emitió alrededor de 7.40 toneladas métricas (Tm) de CO₂e bruto, 2.96 toneladas más que el promedio nacional de 5.96 tCO₂e en 1995. Mientras que en el 2005, aumentó a 8.26 TmCO₂e, mientras que el promedio nacional para ese mismo año fue de 6.10 TmCO₂e. 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.

Conforme a las proyecciones realizadas, las emisiones brutas de GEI en Sonora seguirán aumentando, pudiendo alcanzar niveles de 33.5 MTmCO₂e para el año 2020. Esto representaría un incremento del 127% por encima de los niveles de 1990. Siendo el sector generador de electricidad el que más contribuya en el incremento de las emisiones futuras en Sonora, seguido del sector de transporte.

ABSTRACT.

The anthropogenic emissions of the greenhouse gases effect (GGE) and the carbon sinks from 1990 to 2020 were calculated. The estimations were elaborated using several principles and guidelines generally accepted for the estates greenhouse gas inventory, based on specific data and numbers about the estate of Sonora. The first projections of refereed cases (2006-2020) are supported by a compilation of different projections about energy generation, combustible consume and some others activities of GGE generators in Sonora, furthermore a group of simple and elemental assumptions.

The inventory and projections comprise six types of gasses that are included in the national inventory of México and that are frequently reported in the international informs in accordance with the Kyoto's Protocol: carbon dioxide (CO₂), methane (CH₄), nitrous oxide (N₂O), hydrofluorocarbon (HFCs), perfluorocarbon (PFCs) y sulphur hexafluoride (SF₆). The emissions of these GGE are presented using a common metric, CO₂ equivalent (CO₂e) that indicates the relative contribution of each gas per unitary mass to the mean radiative global forcing based on the global warning potential (GWP). The activities in the state of Sonora provide approximately 19.8 millions of metric tons of grass emissions of CO₂e (based by the consume) in 2005, equivalent to the 3.0% of the GGE gross emissions along the whole country in 2005, excluding the carbon sinks as a carbon reserve in a forest zones. In Sonora the GGE gross emissions based by the consume increased in a 34% from 1990 to 2005, while throughout the whole country increased in a 31% in the same period. The increasing of the emissions in Sonora from the period of 1990 to 2005 are meanly related with electricity consume and transportation activities.

In the same way, initials estimations of the carbon sinks located in the forest zones of the estate were realized. However, it is necessary to specify information in order to be able to estimate the carbon captured by the urban wooded zones, and use change and cultivation practices that generate changes to the agricultural soils. Also it is required to

accounting lost/gains in forest zones and optimized estimations regarding forest and agriculture carbon sinks which could make important changes in the initial estimations already made we got around 8.42 MTmCO_{2e} were storage at the sonorant forest biomass.

Comparing the GGE emissions per capita, we got that in Sonora in 1995, around 7.4 metric tons of gross CO_{2e}, 2.96 more tons that the national average of 5.96 tCO_{2e} in 1995. While in 2005, increased to 8.26 TmCO_{2e}, comparing to the national average in the same year which was of 6.10 TmCO_{2e} even the population of Sonora has increased at the state that the national. The emissions in the state also have increased at a faster pace, which caused that the per capita emissions of Sonora increased from 1995 to 2005. According to the projections realized the GGE gross emissions in Sonora will still increasing and may reach levels of 33.5 MTmCO_{2e} for 2020. This would represent an increase or the 127% above the 1990 levels. Be the generator of electricity sector the one most contributes with the future increase of emissions in Sonora, secondly the transportation sector.

DECIDATORIA.

Dedico este esfuerzo a mi esposa Mariana Miranda Lugo y a mis hijos Ramón, Víctor Manuel y Andrea Alexandra, apoyos y fuentes inagotables de energía e inspiración para seguir siempre adelante en mi vida, en mi trabajo y en todo lo que hago.

A mi madre en especial que me dio la luz, mi ejemplo de dedicación y de la cultura del esfuerzo.

A la memoria de mi padre, que siempre está a mi lado.

A mis hermanos Ma. Del Rosario, Leobarda y Andrés por apoyarme en todo momento en los retos que he enfrentado.

A mis amigos que sin esperar nada a cambio, me brindan su amistad y apoyo en las buenas y las malas.

Y a todos los que ayudaran de buena fe a que este esfuerzo se hiciera realidad.

TABLA DE CONTENIDO.

	Página
RESUMEN	iv
ABSTRACT	vi
LISTA DE FIGURAS	xi
LISTA DE TABLAS	xiii
NOMENCLATURA	xvii
AGRADECIMIENTOS	xix
1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS	1
1.1. Introducción	1
1.2. Objetivos	4
1.2.1. Objetivo general	4
1.2.2. Objetivos específicos	4
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	5
2.1. Cambio climático	5
2.2. Aspectos generales de Sonora	15
2.2.1. Aspecto del medio natural	15
2.2.2. Aspectos del medio socioeconómico	24
3. METODOLOGÍA	40
3.1. Energía	44
3.2. Consumo de combustible residencial, comercial e industrial	51
3.3. Transporte	54
3.4. Industria de combustibles fósiles	58
3.5. Procesos industriales	61
3.6. Manejo de residuos	66
3.7. Agricultura	69
3.8. Silvicultura y cambio de uso de suelo	79

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	88
4.1. Resultados por sector	88
4.1.1. Energía	88
4.1.2. Consumo de combustible residencial, comercial e industrial	94
4.1.3. Transporte	101
4.1.4. Industria de combustibles fósiles	103
4.1.5. Procesos industriales	105
4.1.6. Manejo de residuos	107
4.1.7. Agricultura	109
4.1.8. Silvicultura y cambio de uso de suelo	112
4.1.9. Totales	113
4.2. Incertidumbres por sector	118
4.2.1. Energía	118
4.2.2. Consumo de combustible residencial, comercial e industrial	119
4.2.3. Transporte	120
4.2.4. Industria de combustibles fósiles	121
4.2.5. Procesos industriales	121
4.2.6. Manejo de residuos	123
4.2.7. Agricultura	125
4.2.8. Silvicultura y cambio de uso de suelo	126
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	128
6. BIBLIOGRAFIA	131

LISTA DE FIGURAS.

Figura		Página
1	Cambios en la temperatura, en el nivel del mar y en la cubierta de nieve del Hemisferio Norte.	8
2	Cambios experimentados por los sistemas físicos y biológicos y por la temperatura superficial en 1970-2004.	9
3	Cambios de la temperatura superficial proyectados para finales del siglo XXI (2090-2099).	10
4	Ejemplos de impactos proyectados asociados al promedio mundial del calentamiento en superficie.	13
5	Tendencia de la precipitación en México por regiones para el periodo 1945-1995.	14
6	Contribución porcentual mundial de las emisiones históricas por región	15
7	Climas del estado de Sonora.	17
8	Suelos del estado de Sonora.	19
9	Comunidades bióticas en el Estado de Sonora.	21
10	Uso del Suelo y Vegetación del Estado de Sonora.	22
11	Crecimiento poblacional del estado de Sonora.	25
12	Tasa de crecimiento de la economía nacional y del estado de Sonora.	28
13	Aportación de las actividades productivas al PIB estatal sonorense.	29
14	Superficie sembrada por tipo de cultivo en el estado de Sonora.	32
15	Superficie sembrada por tipo de cultivo perenne en el estado de Sonora.	32
16	Resumen de las características de la generación de electricidad del estado de Sonora para el 2004.	88
17	Generación bruta de electricidad en Sonora.	90

18	Pronóstico de consumo de energía eléctrica para el estado de Sonora.	92
19	Emisiones totales de GEI asociadas con la demanda de electricidad del estado de Sonora.	94
20	Emisiones de GEI de fuentes residenciales.	96
21	Emisiones de GEI de fuentes comerciales del estado de Sonora derivadas del uso de GLP.	97
22	Emisiones de GEI derivados de la quema de combustibles en el sector industrial del estado de Sonora.	98
23	Emisiones de GEI en el sector RCI del estado de Sonora.	100
24	Emisiones brutas de GEI del transporte por combustible del estado de Sonora para el periodo 1990-2020.	103
25	Tendencias en las emisiones de las industrias de combustibles fósiles en MTmCO ₂ e.	105
26	Emisiones de GEI de los procesos industriales, 1990-2020	107
27	Emisiones de GEI derivadas del manejo de residuos en Sonora.	108
28	Emisiones de GEI derivadas de la agricultura en el estado de Sonora para el periodo 1990-2020.	111
29	Distribución porcentual de las emisiones de GEI por sector del estado de Sonora para el 2005.	114
30	Contribuciones por sector al aumento en las emisiones brutas en Sonora para el periodo 1990-2020.	117

LISTA DE TABLAS.

Tabla		Página
1	Porcentaje de cobertura del territorio sonorense por unidad fisiográfica.	18
2	Cuencas hidrográficas de las regiones hidrológicas en el estado de Sonora.	20
3	Extensión territorial que ocupan las comunidades bióticas en Sonora.	23
4	Porcentaje de cobertura que ocupa el tipo de vegetación del territorial estatal sonorense.	23
5	Participación del estado de Sonora al PIB nacional en miles de pesos a precios de 1993 en valores básico.	26
6	PIB del estado de Sonora por actividad productiva.	27
7	Superficie sembrada y cosechada por ciclo y la producción obtenida en el estado de Sonora.	30
8	Inventario de producción de cultivos en toneladas métricas del estado de Sonora.	31
9	Datos sobre aplicación de fertilizantes del estado de Sonora.	33
10	Tierras de cultivo del estado de Sonora en las que se practica la quema de rastrojos, en hectáreas.	33
11	Cabezas de ganado por año en el estado de Sonora.	34
12	Toneladas de producción minera en el Estado de Sonora.	35
13	Miles de pesos del valor de la producción minera en el Estado de Sonora.	35
14	Infraestructura eléctrica del Estado de Sonora.	36
15	Vehículos de motor registrados en circulación en el Estado de Sonora.	38
16	Valores brutos de generación de electricidad del inventario en GWh.	48
17	Valores de rendimiento térmico promedio.	48
18	Factores de emisión seleccionados.	48
19	Valores brutos pronosticados sobre generación de energía del estado de Sonora en GWh.	51

20	Distribución porcentual del consumo nacional de GLP.	53
21	Distribución porcentual parcial del consumo de gas natural en Sonora.	54
22	Factores de actividad por modalidad de transporte en el estado de Sonora.	56
23	Índices de crecimiento medio anual del sector transporte del estado de Sonora.	56
24	Enfoque para calcular las emisiones históricas y proyectadas de los sistemas de combustibles fósiles.	60
25	Enfoque para calcular las emisiones del inventario.	64
26	Enfoque para el cálculo de las proyecciones del 2005 al 2020.	65
27	Valores principales del SIT por defecto para el tratamiento de aguas residuales municipales.	68
28	Porcentaje de distribución por defecto de los sistemas de gestión de estiércol en América Latina.	71
29	Porcentaje de FCM de los sistemas de gestión de estiércol por zona climática del estado de Sonora.	72
30	Factores de emisión del N ₂ O aplicados a los sistemas de gestión de estiércol.	73
31	Valores por defecto de las emisiones indirectas de N ₂ O provenientes de la gestión del estiércol.	74
32	Índices de crecimiento aplicados a la población ganadera del estado de Sonora.	76
33	Índices de crecimiento aplicados a la producción de cultivos del estado de Sonora.	77
34	Pronóstico de población ganadera 2005-2020 del estado de Sonora.	78
35	Pronóstico de producción de cultivos 2005-2020 del estado de Sonora.	78
36	Incremento anual en la biomasa del estado de Sonora.	82
37	Área alterada por incendios expresada en hectáreas del estado de Sonora.	83

38	Factores de conversión de área forestal a contenido de carbono del estado de Sonora.	84
39	Volumen de producción forestal maderable en metros cúbicos del estado de Sonora.	85
40	Cambio anual en las reservas de carbono en la biomasa del estado de Sonora en toneladas métricas de carbono.	85
41	Cambio anual en las reservas de carbono de la biomasa de zonas arboladas del estado de Sonora en MTmCO ₂ e.	86
42	Correlación entre los tipos de vegetación del IPCC 2006 y la EPA.	86
43	Resumen de las características de la generación de electricidad del estado de Sonora para el 2004.	89
44	Pronóstico de generación bruta de electricidad en Sonora en GWh.	90
45	Pronósticos de consumo de energía del estado de Sonora en terajulios.	91
46	Pronósticos de consumo de energía del estado de Sonora en terajulios.	91
47	Emisiones totales de GEI del estado de Sonora asociadas con la demanda de electricidad en MTmCO ₂ e.	93
48	Energía utilizada en el sector RCI en TJ del estado de Sonora.	95
49	Porcentaje del total de la energía utilizada en el sector RCI por fuente del estado de Sonora.	95
50	Emisiones de GEI en el sector RCI del estado de Sonora en MTmCO ₂ e.	99
51	Distribución porcentual de emisiones de GEI en el sector RCI del estado de Sonora.	100
52	Emisiones de GEI del transporte del estado de Sonora en MTmCO ₂ e.	102
53	Distribución porcentual de las emisiones de GEI del sector transporte del estado de Sonora.	102
54	Porcentaje de cambio en las emisiones de GEI en intervalos seleccionados del sector transporte en el estado de Sonora.	102
55	Emisiones históricas y proyectadas de la industria de combustibles fósiles del estado de Sonora en MTmCO ₂ e.	104

56	Distribución porcentual de las emisiones históricas y proyectadas de la industria de combustibles fósiles del estado de Sonora.	104
57	Emisiones de GEI históricas y proyectadas de los procesos industriales en MTmCO ₂ e.	106
58	Distribución porcentual de las emisiones de GEI de los procesos industriales en el estado de Sonora.	106
59	Emisiones de GEI derivadas la gestión de desechos en Sonora en MTmCO ₂ e.	108
60	Distribución porcentual de las emisiones de GEI en el sector manejo de residuos en el estado de Sonora.	109
61	Emisiones de GEI derivadas de la agricultura en el estado de Sonora en MTmCO ₂ e.	110
62	Distribución porcentual de las emisiones de GEI en el sector agrícola en el estado de Sonora.	111
63	Índice de crecimiento porcentual medio anual de los GEI en el estado de Sonora en los intervalos seleccionados.	112
64	Cambio anual en las reservas de carbono de la biomasa de zonas arboladas en el estado de Sonora en MTmCO ₂ e.	112
65	Emisiones de metano y óxido nitroso derivadas de incendios forestales en el estado de Sonora.	113
66	Flujo de carbono en silvicultura y uso de suelo y Proyecciones de casos de referencia en el estado de Sonora en MTmCO ₂ e.	113
67	Emisiones de GEI históricas y proyectadas del estado de Sonora.	115

NOMENCLATURA.

CEDES	Comisión de Ecología y Desarrollo Sustentable del Estado de Sonora.
CFE	Comisión Federal de Electricidad.
CH ₄	Metano.
CO	Monóxido de carbono.
CO ₂	Dióxido de carbono.
CO _{2e}	Dióxido de carbono equivalente.
CONAFOR	Comisión Nacional Forestal.
CONAGUA	Comisión Nacional del Agua.
COVDM	Compuestos orgánicos volátiles distintos del metano.
CR	Registro Climático.
EIIP	Programa de Mejora de los Inventarios de Emisiones (Emission Inventory Improvement Program).
EPA	Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos de América.
DBO	Demanda biológica de oxígeno.
FCM	Factor de conversión de metano.
GEI	Gases efecto invernadero.
GLP	Gas licuado de petróleo.
GWh	Gigawatt/hora.
HFCs	Hidrofluorocarbonos.
IEEE	Informe Especial sobre Escenarios de Emisiones.
INEGI	Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.
IPCC	Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático.
MTm	Millones de toneladas métricas.
MW	Megawatt.
N ₂ O	Óxido nitroso.
PEMEX	Petróleos Mexicanos.
PCG	Potencial de calentamiento global.
PFCs	Perfluorocarbonos.

PIB	Producto Interno Bruto.
OEIDRUS	Oficina Estatal de Información para el Desarrollo Rural Sustentable del Estado de Sonora.
RCI	Residencial, comercial e industrial.
SEMARNAT	Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales.
SENER	Secretaría de Energía.
SF ₆	Hexafluoruro de azufre.
SIACON	Sistema de Información Agropecuaria de Consulta.
SNIARN	Sistema Nacional de Información Ambiental y Recursos Naturales.
SIT	Herramienta para inventarios estatales de gases de efecto invernadero (State Greenhouse Gas Inventory Tool).
SV	Sólidos volátiles.
TJ.	Terajulios.
tCO ₂ e	Toneladas de CO ₂ e
Tm	Toneladas métricas.
WCI	Iniciativa Climática de los Estados de Oeste de los Estados Unidos de América.

AGRADECIMIENTOS.

A mis asesores M.C. Jaime Varela Salazar, Dr. Guillermo Tiburcio Munive, M.C. Agustín Montiel Cota y al M.C. Martín E. Cruz Campa por sus recomendaciones y asesorías en la elaboración del presente trabajo.

A la Comisión de Ecología y Desarrollo Sustentable del Estado de Sonora, en especial al M.C. Francisco Maytorena Quintero y al Arq. Ángel López Guzmán por las facilidades y la obtención de los datos.

A Center for Climate Strategies por su apoyo en la realización de cálculos y proyecciones.

Al Dr. Víctor Manuel Sánchez Corrales y a Ana Bertha por su apoyo desinteresado en los trámites.

A la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos de América por su apoyo con recursos.

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS.

1.1. INTRODUCCIÓN.

El Cambio Climático ya no es un caso interesante de investigación en el mundo, es toda una realidad que sus efectos son patentes en cada rincón de nuestro planeta, representando el mayor reto que enfrentamos los seres humanos, derivado de la decisiones y acciones que hemos emprendido, principalmente posteriores al inicio de la revolución industrial, considerado por los propios gobiernos como un problema de seguridad nacional, al poner en peligro los recursos naturales, sustento de la humanidad.

Preocupados por los posibles efectos del cambio climático, el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente y la Organización Meteorológica Mundial constituyeron en 1988 el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés), grupo de especialistas de diversos países, que estudian el fenómeno y proponen alternativas para evaluar los posibles escenarios de vulnerabilidad que podrían enfrentar el medio natural y socioeconómico, así como, alternativas y herramientas para prevenir, minimizar y mitigar sus efectos y estabilizar la concentración de gases de efecto invernadero generadas a niveles que puedan ser capturados por la biosfera.

La Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) publicó en octubre de 2006, el Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero por fuente y sumidero para el periodo 1990 – 2002.

Sonora en particular, por su ubicación geográfica y condiciones del medio físico y natural, lo ponen en una situación crítica ante el cambio climático, mostrando sus efectos recientemente con lluvias torrenciales y aumento en la temperatura.

Por otro lado, los compromisos del Gobierno del Estado en distintos foros nacionales, como internacionales, por citar algunos, al firmar en junio de 2007, la Iniciativa

Climática de los Estados de Oeste de los Estados Unidos de América (WCI, por sus siglas en inglés) y el Registro Climático (CR, por sus siglas en inglés); compromisos en el marco del programa binacional México- Estados Unidos Frontera 2012. El Inventario de Emisiones de GEI, representa un instrumento estratégico, para la toma de decisiones, la investigación científica y la identificación de oportunidades que ayuden mitigar la emisión de gases de efecto invernadero.

La recopilación de un inventario nacional de gases de efecto invernadero (GEI) requiere una serie bastante larga e interconectada de tareas, incluyendo la recolección de factores de emisión y datos de actividad, la selección de métodos apropiados, la estimación de emisiones y absorciones por sumideros de GEI, la implementación de la evaluación de incertidumbre y procedimientos de control/garantía de la calidad, informes de resultados y documentación y archivado de todos los procedimientos y datos pertinentes.

El inventario se elaboró bajo los siguientes principios de contables generalmente aceptados para la evaluación de las emisiones históricas y proyectadas de GEI: consistencia; transparencia; prioridad a las fuentes de datos estatales y locales existentes; prioridad a las fuentes de emisiones significativas; uso de estimaciones basadas en el consumo; cobertura integral de gases; sectores, actividades estatales y periodos de tiempo.

En congruencia con el inventario de emisiones de GEI nacional, se tomo como año base el 2005, recabándose información existentes a partir de 1990 por periodos de cinco años. Se realizaron estimaciones sencillas y claras, haciendo hincapié en su solidez, siguiendo una serie de principios y lineamientos generalmente aceptados para los inventarios estatales de emisiones de GEI.

A la falta de lineamientos para contabilización en nuestro país, se adoptó el enfoque utilizado por la EPA (Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos de América, por sus siglas en ingles) para inventarios de las entidades federativas. Lineamientos que

se fundan en las directrices del IPCC, organismo internacional responsable del desarrollo de métodos coordinados para la realización de inventarios nacionales de GEI. Las estimaciones realizadas se basaron, en la medida posible, en pronósticos de referencia de las mejores fuentes estatales y regionales de las que se pueda disponer se consideraran datos y cifras específicas sobre las actividades en Sonora, proporcionadas por dependencias y entidades del Gobierno del estado de Sonora y por algunas dependencias del Gobierno Federal, en la medida de lo posible. Cuando se carecía de este tipo de datos sobre pronósticos confiables, se recurrirá 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.

Las emisiones de GEI se calcularon y se analizaron para ocho categorías de fuentes de emisión, estos son: Suministro y consumo de electricidad; quema de combustible residencial, comercial, e industrial; consumo de energía en el transporte; procesos industriales y uso de productos; industrias de combustibles fósiles; agricultura; gestión de desechos, y silvicultura y uso de suelo.

El inventario muestra los resultados obtenidos para las ocho categorías estudiadas, así como la aportación de los diversos subsectores que la conforman.

Siempre que fue posible se determinaron las incertidumbres, para cada uno de los sectores y subsectores contemplados en el presente documento.

1.2. OBJETIVOS.

1.2.1. Objetivo general.

Calcular los sumideros de carbono y las emisiones antropogénicas de gases efecto invernadero generadas por las actividades que se llevan a cabo en el Estado de Sonora.

1.2.2. Objetivos específicos.

- Identificar la contribución en las emisiones de GEI totales de cada sector y subsector productivo del Estado de Sonora.
- Registrar los sumideros de carbono y la cantidad capturada.
- Determinar las variaciones de los niveles de emisión en el tiempo.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.

2.1. CAMBIO CLIMÁTICO.

El clima depende de un gran número de factores que interactúan de manera compleja. A diferencia del concepto tradicional de clima, como el promedio de alguna variable, hoy en día se piensa en éste como un estado cambiante de la atmósfera, mediante sus interacciones con el mar y el continente, en diversas escalas de tiempo y espacio. [29]

La Tierra absorbe radiación solar (radiación de onda corta), principalmente en la superficie, y la redistribuye por circulaciones atmosféricas y oceánicas para intentar compensar los contrastes térmicos, principalmente del ecuador a los polos. La energía recibida es re-emitida al espacio (radiación de onda larga) para mantener en el largo plazo, un balance entre energía recibida y re-emitida. Cualquier proceso que altere tal balance, ya sea por cambios en la radiación recibida o re-emitida, o en su distribución en la Tierra, se reflejará como cambios en el clima. A tales cambios en la disponibilidad de energía radiativa se les conoce como forzamientos radiativos. Cuando éstos son positivos tienden a calentar la superficie de la Tierra. Un enfriamiento se producirá si el forzamiento radiativo es negativo. [29]

El clima varía en diferentes escalas temporales, desde fluctuaciones interanuales hasta variaciones en escalas de millones de años. Existe un conjunto de mecanismos generadores de cambio climático que se divide en internos y externos, los cuales operan en distintas frecuencias y afectan de manera directa al sistema climático terrestre. [3]

Acerca de las causas de estas fluctuaciones climáticas de largo periodo se han formulado diversas hipótesis. La más aceptada se refiere a las variaciones en la radiación solar que llega a la Tierra como resultado de cambios cíclicos en la órbita del planeta en relación con el Sol. Éstos incluyen cambios graduales en la forma de la órbita (variando de un círculo a una elipse); cambios en la inclinación del eje terrestre, y cambios en el punto

de la órbita en que ocurren los equinoccios y solsticios. Los cambios orbitales generan variaciones en la cantidad de radiación que llega a una zona determinada de la Tierra. Por ello, en ciertos periodos las zonas de latitud alta han recibido menos radiación, sus climas se han enfriado y partes de ellas se han cubierto de glaciares. El enfriamiento se ha generalizado en todo el planeta mediante de complejos mecanismos de la circulación atmosférica y oceánica. [36]

Otro conjunto de factores modeladores del clima que se ha documentado son los mecanismos internos, como el efecto de la actividad volcánica, los cambios en la circulación oceánica y las variaciones en la actividad solar. Estos factores naturales producen variabilidad climática, pero en periodos más cortos. [27]

La Tierra, durante el último millón de años, ha completado ocho ciclos glaciales, oscilando de manera irregular entre un periodo ‘glacial primordial’, cuando las condiciones ambientales promedio del planeta son de frío, sequedad o lluvias escasas, gran extensión de los hielos polares y glaciares y el consecuente descenso del nivel del mar, y un periodo ‘interglacial húmedo’, caracterizado por condiciones ambientales medias de gran humedad y precipitación intensa, calor persistente, ausencia o presencia escasa de hielo polar y glaciar y un elevado nivel del mar. [4] El clima actual se encuentra entre tales condiciones extremas, pero de manera inexorable avanza hacia alguna de ellas. [10]

La temperatura del planeta aumentó en aproximadamente 0.6°C durante el siglo XX. Desde 1861, la década más caliente ha sido la de los años noventa, y el año más caluroso fue 1998. [6] Mientras que, a la década de 1980 se le conoce como la “década del invernadero”, debido a las altas temperaturas globales promedio registradas y a la serie de condiciones climáticas inusuales presentadas en varias partes del mundo, como sequías, inundaciones, ciclones, huracanes y tifones. [9] Este cambio climático global es una consecuencia del aumento en las emisiones de gases de efecto invernadero, resultado principalmente de la quema de combustibles fósiles que ha provocado un

cambio en las condiciones atmosféricas globales. [1] Este cambio del clima atribuido directa o indirectamente a actividades humanas que alteran la composición de la atmósfera mundial, y que viene a añadirse a la variabilidad natural del clima observada durante periodos de tiempo comparables, el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático lo define como cambio climático. [15]

De los doce últimos años (1995-2006), once figuran entre los doce más cálidos en los registros instrumentales de la temperatura de la superficie mundial (desde 1850). La tendencia lineal a 100 años (1906-2005), cifrada en $0,74^{\circ}\text{C}$ [entre $0,56^{\circ}\text{C}$ y $0,92^{\circ}\text{C}$] es superior a la tendencia correspondiente de $0,6^{\circ}\text{C}$ [entre $0,4^{\circ}\text{C}$ y $0,8^{\circ}\text{C}$] (1901-2000) indicada en el Tercer Informe de Evaluación, ver figuras 1 y 2. Este aumento de temperatura está distribuido por todo el planeta y es más acentuado en las latitudes septentrionales superiores. Las regiones terrestres se han calentado más aprisa que los océanos. [25]

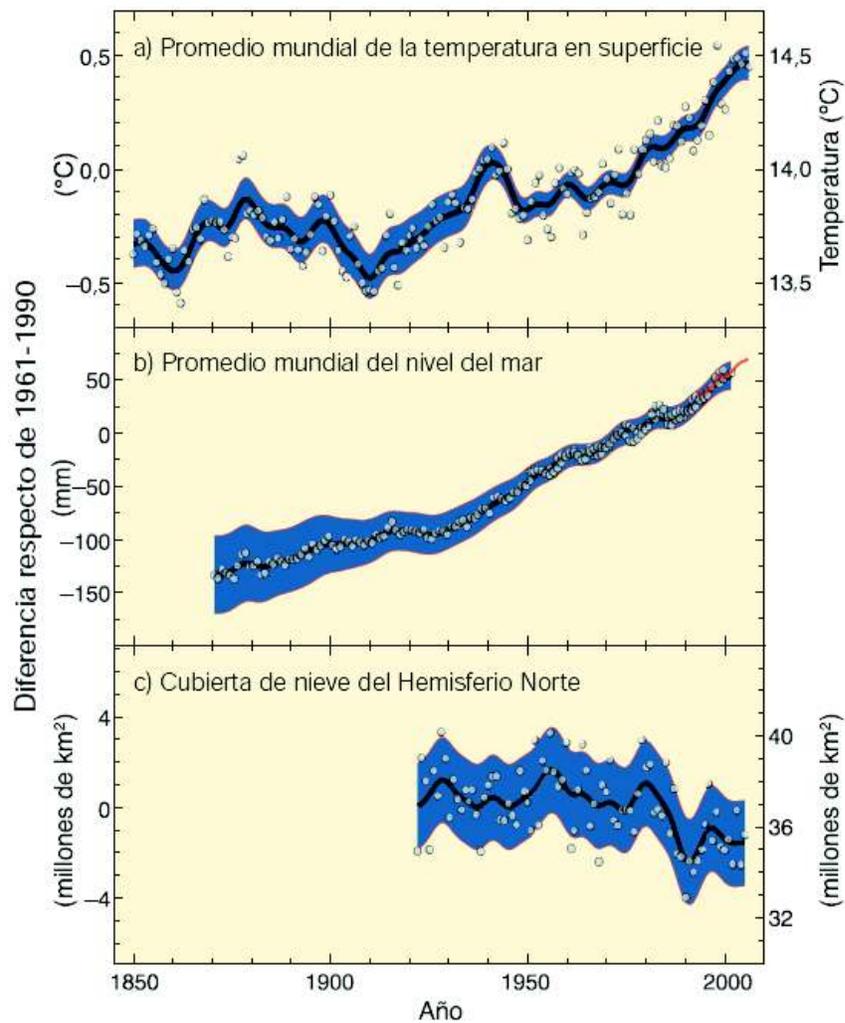


Figura 1. Cambios en la temperatura, en el nivel del mar y en la cubierta de nieve del Hemisferio Norte. [25]

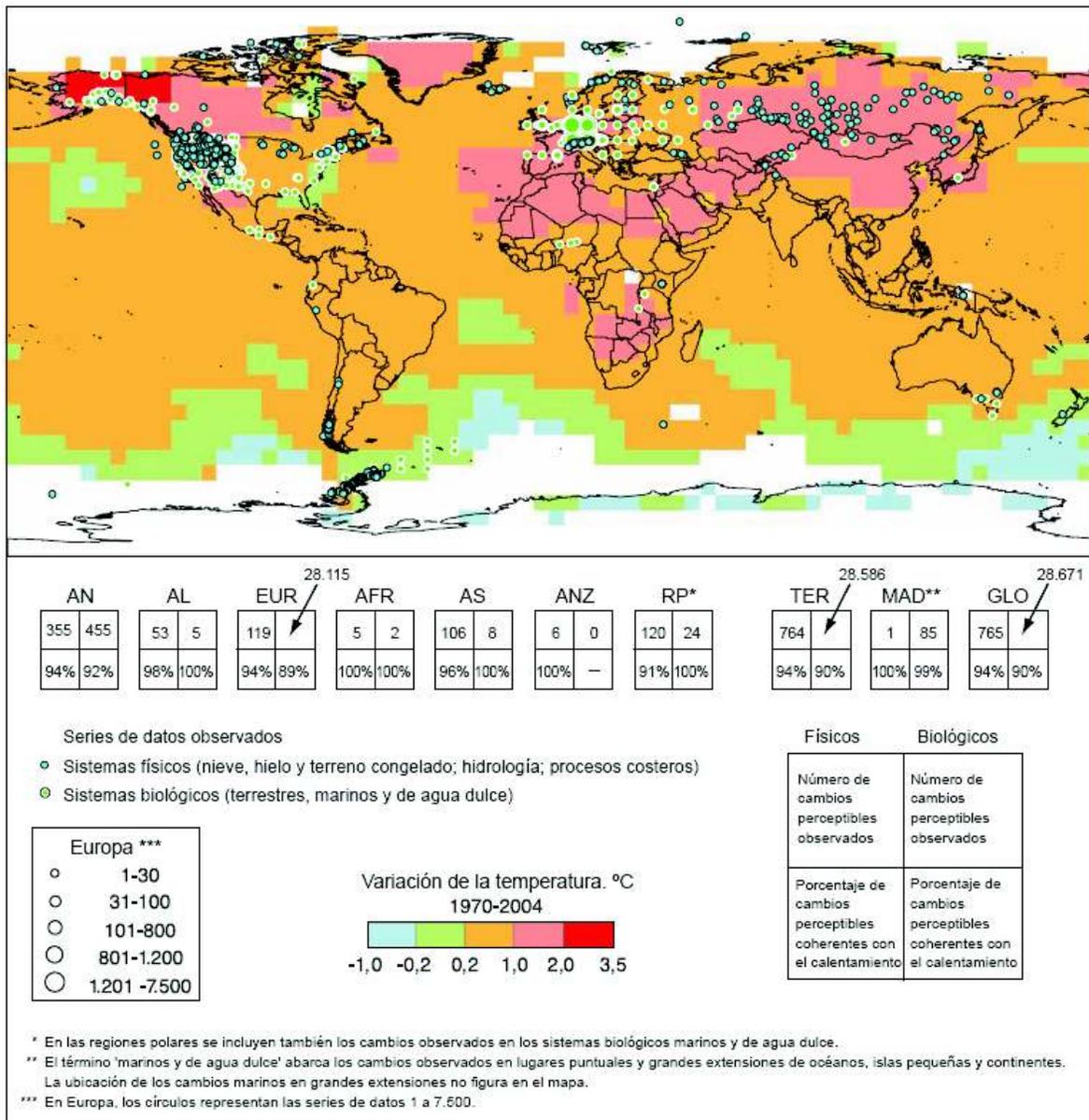


Figura 2. Cambios experimentados por los sistemas físicos y biológicos y por la temperatura superficial en 1970-2004. [25]

De proseguir las emisiones de GEI a una tasa igual o superior a la actual, el calentamiento aumentaría y el sistema climático mundial experimentaría durante el siglo XXI numerosos cambios, muy probablemente mayores que los observados durante el siglo XX. [25] Para los dos próximos decenios las proyecciones indican un calentamiento de aproximadamente $0,2^{\circ}\text{C}$ por decenio para toda una serie de escenarios de emisiones IIEE. Aunque se hubieran mantenido constantes las concentraciones de todos los gases de efecto invernadero y aerosoles en los niveles de 2000, cabría esperar un ulterior calentamiento de aproximadamente $0,1^{\circ}\text{C}$ por decenio, ver figura 3. [25]

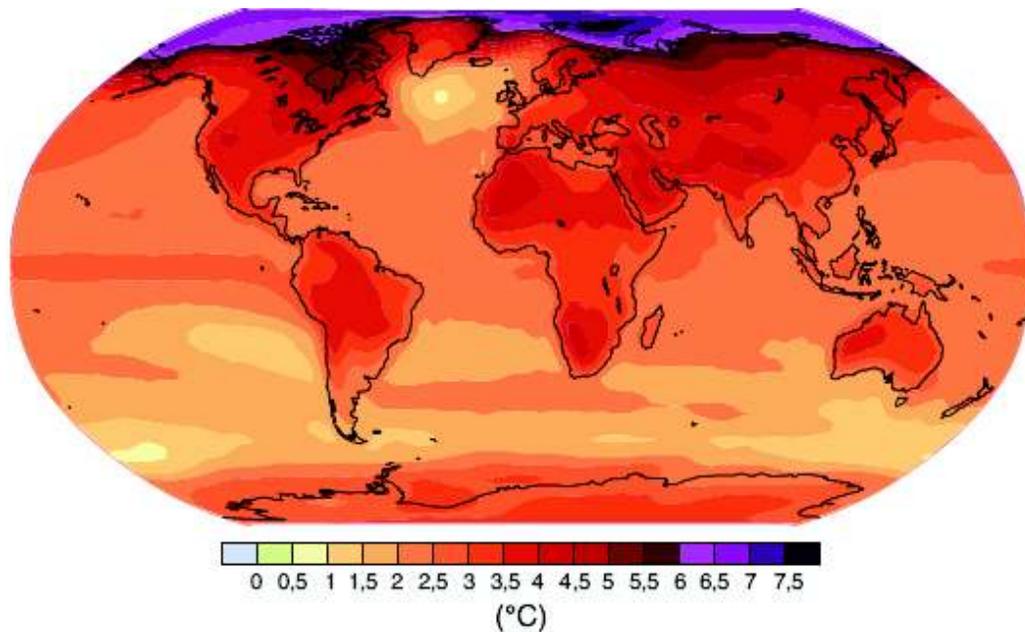


Figura 3. Cambios de la temperatura superficial proyectados para finales del siglo XXI (2090-2099). [25]

Estos cambios en el clima mundial originarían modificaciones en el clima a escala regional que abarca:[25]

- Un calentamiento máximo sobre tierra firme y en la mayoría de las latitudes septentrionales altas, y mínimo sobre el océano austral y partes del Atlántico Norte.
- la contracción de la superficie de las cubiertas de nieve en la mayor profundidad de deshielo en la mayoría de las regiones de permafrost, y en la menor extensión de los hielos marinos; en algunas proyecciones basadas en escenarios del Informe Especial sobre Escenarios de Emisiones (IEEE), los hielos marinos de la región ártica desaparecerían casi completamente al final de los veranos en los últimos años del siglo XXI.
- Muy probablemente aumentará la frecuencia de los valores extremos cálidos, de las olas de calor y de las precipitaciones intensas.
- Probablemente aumentará la intensidad de los ciclones tropicales; menor confianza en que disminuya el número de ciclones tropicales en términos mundiales.
- Desplazamiento hacia los polos de las trayectorias de las tempestades extratropicales, con los consiguientes cambios de las pautas de viento, precipitación y temperatura.
- Muy probablemente aumentarán las precipitaciones en latitudes altas, y probablemente disminuirán en la mayoría de las regiones terrestres subtropicales, como continuación de las tendencias recientemente observadas desaparecerían casi completamente al final de los veranos en los últimos años del siglo XXI.
- Muy probablemente aumentará la frecuencia de los valores extremos cálidos, de las olas de calor y de las precipitaciones intensas.
- Probablemente aumentará la intensidad de los ciclones tropicales; menor confianza en que disminuya el número de ciclones tropicales en términos mundiales.
- La escorrentía fluvial anual y la disponibilidad de agua aumentarán en latitudes altas (y en ciertas áreas lluviosas tropicales) y disminuirán en algunas regiones secas en latitudes medias y en los trópicos.

- Con un grado de confianza alto, numerosas áreas semiáridas (por ejemplo, la cuenca mediterránea, el oeste de los Estados Unidos, el sur de África y el nordeste de Brasil) experimentarán una disminución de sus recursos hídricos por efecto del cambio climático.

Probablemente algunos sistemas, sectores y regiones resultarán especialmente afectados por el cambio climático, como se observan en la figura 4.

En tanto en México, los efectos del cambio climático se están acentuando, Un ejemplo de las tendencias de la lluvia en las últimas décadas muestra que en la mayor parte de México existe una tendencia a mayor precipitación, principalmente en los estados del norte (figura 5). Por el contrario, en los estados donde las lluvias dependen de lo que ocurre en el Pacífico mexicano parece haber una tendencia a menores precipitaciones.

[30]

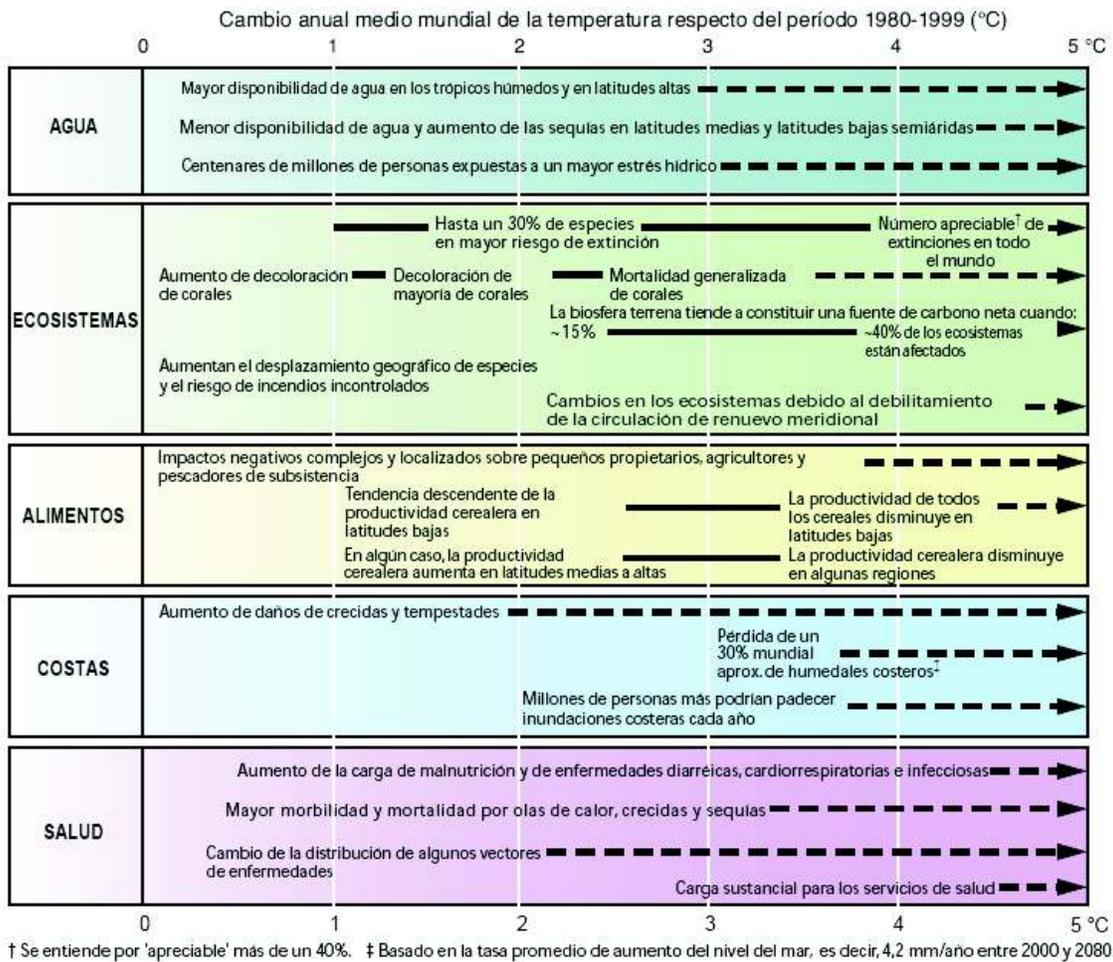


Figura 4. Ejemplos de impactos proyectados asociados al promedio mundial del calentamiento en superficie. [25]

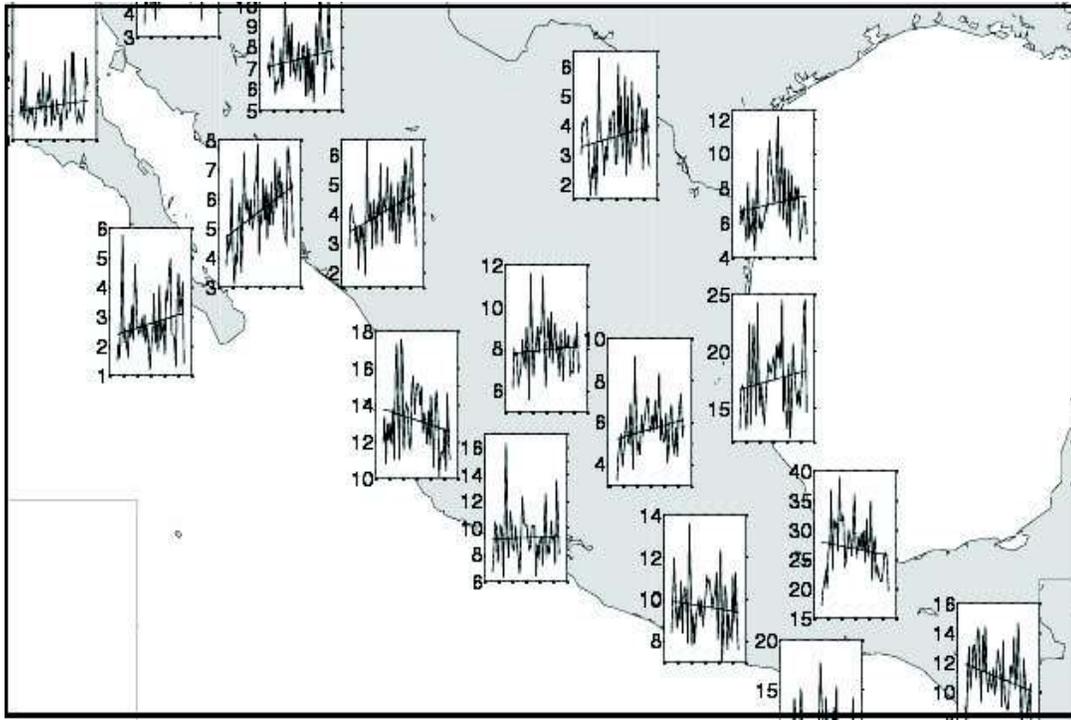


Figura 5. Tendencia de la precipitación en México por regiones para el periodo 1945-1995.[30]

Con el inicio de la Revolución Industrial, la concentración de los gases de efecto invernadero de la atmósfera mostró los siguientes incrementos: bióxido de carbono (CO_2), 31%; metano (CH_4), 151%, y óxidos de nitrógeno (N_2O), 17%. Los científicos consideran que estas adiciones son resultado de la quema de los combustibles fósiles y, en menor proporción, de la contribución de otras actividades humanas. [23]

Las emisiones históricas de carbono producto de la quema de combustibles fósiles en el periodo de 1900 a 2000, fueron de 261,233 millones de toneladas. Las emitidas por

Norteamérica representaron 32.2%, siguen Europa Occidental con 21.9%, Europa del Este con 18.5%, Asia con 8.2%, Oceanía con 5.4%, Lejano Oriente con 5.0%, Latinoamérica con 3.9%, Medio Oriente con 2.5%, y África con 2.4%, ver figura 6. [23]

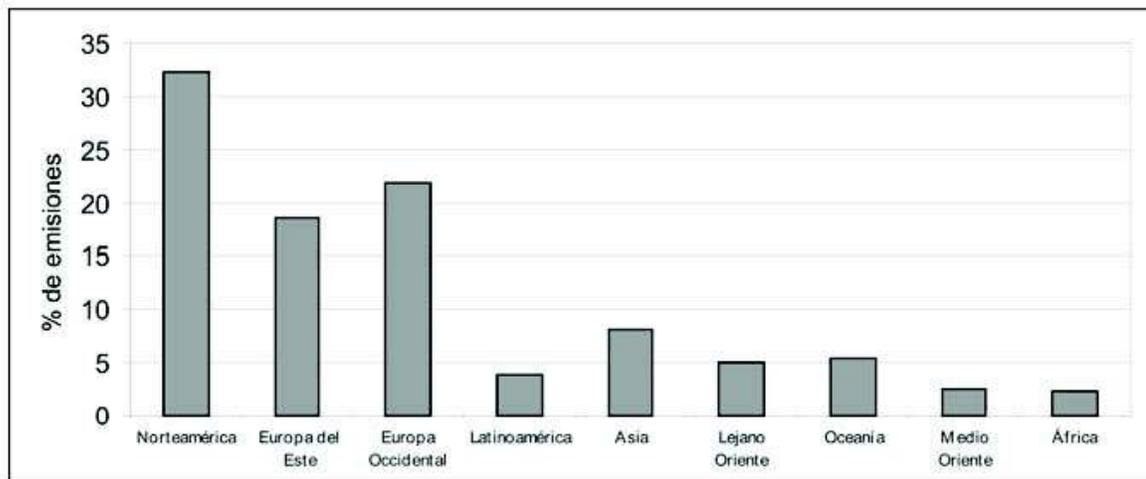


Figura 6. Contribución porcentual mundial de las emisiones históricas por región. [28]

México emitió 2,627 millones de toneladas de carbono que corresponden al 1% de las emisiones totales durante el período considerado (1900-2000), ubicándose en la posición número 15, junto con la ahora República Checa y Bélgica cuyas emisiones fueron similares.[2]

2.2. ASPECTOS GENERALES DE SONORA.

2.2.1. Aspecto del medio natural.

Sonora ocupa el segundo lugar a nivel nacional en cuanto a extensión territorial se refiere, con 179 516 km² y es superado únicamente por Chihuahua. Se localiza entre los 26 grados 18 minutos y los 32 grados 29 minutos de latitud norte y los 108 grados 25

minutos y los 115 grados 03 minutos de longitud oeste. Limita al norte con Estados Unidos de América (estados de Arizona y Nuevo México), al oeste con Baja California y el Golfo de California, al sur con Sinaloa y el Golfo de California y al este con Chihuahua y Sinaloa.[22]

Aproximadamente en 95% del territorio sonorense los climas son muy secos, secos y semisecos (figura 7); se caracterizan por su alta temperatura y escasa precipitación. Esto se debe a la ubicación del estado dentro de la faja subtropical de alta presión, donde se originan las calmas tropicales, que consisten en vientos descendentes frescos y secos los cuales no producen condensación en su seno. Como consecuencia de lo anterior, es aquí donde se localiza la zona más árida del país: el Desierto de Altar. [22]

El resto del estado cuenta con climas templados se localizan en la porción oriental, en los límites con Chihuahua, donde la altitud varía entre 1 000 y 2 000 m. Abarcan, de sur a norte, desde la sierra de San Luis hasta la sierra Serruchito. Con base en su grado de humedad se presentan: el templado subhúmedo con lluvias en verano, de menor humedad; templado subhúmedo con lluvias en verano, de humedad media; y templado subhúmedo con lluvias en verano, de mayor humedad.[22]

Las heladas se producen en el noreste de Sonora, con un promedio de 10 a 30 días al año. Las granizadas son poco frecuentes en el estado, excepto en la Sierra Madre Occidental, Las masas de aire polar continental provenientes de Canadá y Estados Unidos de América, al intercambiarse con el aire cálido de las latitudes bajas, dan lugar a nevadas en las partes más altas de las sierras que se localizan en el noreste del estado, entre ellas, las de San Luis, Serruchito y Los Ajos. [22]

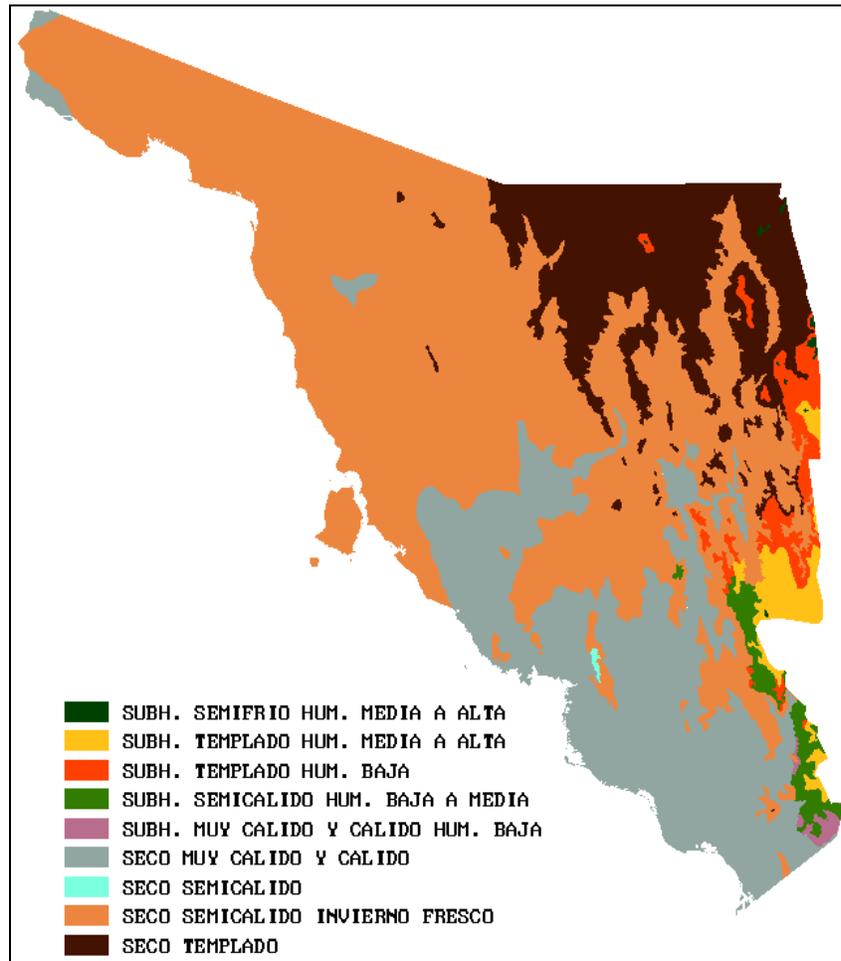


Figura 7. Climas del estado de Sonora. [12]

El territorio del estado de Sonora comprende áreas que corresponden a cuatro provincias o regiones fisiográficas del país: Llanura Sonorense, en el noroeste y oeste; Sierra Madre Occidental, en la parte oriental; Sierras y Llanuras del Norte, en la porción boreal; y Llanura Costera del Pacífico, en el sur. La unidad fisiográfica dominante es la Sierra, seguida por las Bajadas, y la Llanura. Aunque en menor frecuencia, pero no menos

importante, tenemos las mesetas y las playas o barras, importantes para los ambientes marinos, y por tanto consideradas en la regionalización, ver tabla 1.

Tabla 1. Porcentaje de cobertura del territorio sonorense por unidad fisiográfica. [12]

CLASE	(%)	CLASE	(%)
Sierra	39.12	Lomerío	4.43
Bajada	29.12	Dunas	4.39
Llanura	11.49	Mesetas	1.02
Valle	9.48	Playa o Barra	0.13

La geología del Estado de Sonora se caracteriza por presentar una gran diversidad de rocas con edades y orígenes distintos, cada una de las cuales imprime características propias al paisaje en que se encuentran. De esta forma es posible observar hacia el sur del estado, por ejemplo, a los basaltos del cuaternario formar sierras en forma de mesetas a los Depósitos eólicos del cuaternario (dunas) conformar el Desierto de Altar o a los Granitos del Mesozoico constituyendo sierras como la de Ures-mazatán, con abundantes afloramientos rocosos y pendientes abruptas.

Los principales grupos de suelos se presentan en la Figura 8. Consisten de 200 clases generadas en base a las unidades de clasificación FAO/UNESCO 1970, modificado por DGGTNAL (actualmente INEGI), así como en base a las propiedades físicas (profundidad, textura) y químicas (salinidad, sodicidad); Este fue el plano utilizado en la regionalización.

El Estado de Sonora es uno de los estados que tiene más extensión comunicada con el mar, alrededor de 1000 km; pero el agua dulce es el recurso limitante puesto que el clima es desértico, en términos generales.

La Hidrología superficial del estado incluye 5 regiones hidrológicas, RH7 Río Colorado, RH8 Sonora Norte, RH9 Sonora Sur, RH10 Sinaloa Norte y RH34 Cuencas Cerradas del Norte, cubriendo 12 cuencas hidrográficas (Río Colorado, Río San Ignacio, Río Concepción o Asunción, Desierto de Altar Bámori, Río Mayo, Río Yaqui, Río Mátape, Río Sonora, Río Bacoachi, Río Fuerte, Estero Bacorehuis-Agiabampo, y Río Casas Grandes), siete de las cuales son compartidas con otros estados (Sinaloa y Chihuahua), y una es compartida con Estados Unidos, con el estado de Arizona (tabla 2). Estas regiones pertenecen a la Vertiente Occidental o del Pacífico, a excepción de la RH 34 Cuencas Cerradas del Norte, que son cuencas endorreicas correspondientes a la Vertiente Interior.

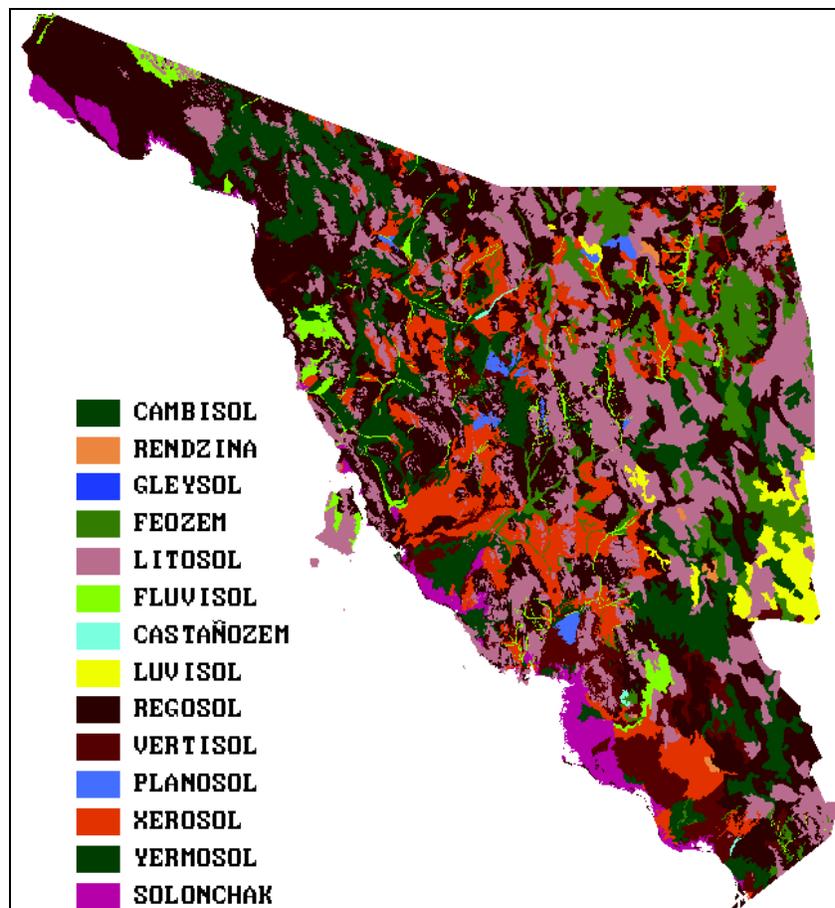


Figura 8. Suelos del estado de Sonora. [12]

Tabla 2. Cuencas Hidrográficas de las Regiones Hidrológicas en el Estado de Sonora.[12]

RH	%	CUENCA	Área (ha)	%	Prec (mm)	Prec (Hm ³)	Coef Esc	Escorrído (hm ³)	Importado (hm ³)	Exportado (hm ³)	Total (hm ³)
RH 07	2.47	7A Río Colorado	157786	0.9	88	139.325	7.2	10.03	180.0		190.0
		7C Río Gila	292017	1.6	509	1487.564	3.6	53.55	0.9	100.8	-46.4
RH 08	31.3	8A Río San Ignacio	932473	5.1	142	1324.112	3.6	47.67			47.7
		8B R. Concepción	2543424	14.0	305	7757.443	1.7	131.88			131.9
		8C Desierto de Altar-	2221475	12.2	109	2421.408	2.3	55.69			55.7
RH 09	63.09	9A Río Mayo	1265091	7.0	517	6540.52	14.1	922.21	860.8		1783.0
		9B Río Yaqui	5438469	29.9	527	28660.73	7.9	2264.20	1183.0		3447.2
		9C Río Mátape	903717	5.0	342	3090.712	3.9	120.54			120.5
		9D Río Sonora	2670030	14.7	376	10039.31	2.8	281.10			281.1
		9E Río Bacoachi	1207505	6.6	207	2499.535	3.5	87.48			87.5
RH 10	2.54	10G Río Fuerte	269265	1.5	703	1892.933	22.6	427.80		76.2	351.6
		10H Estero Bacorehuis	192575	1.1	392	754.894	6.3	47.56			47.6
RH 34	0.6	34D R. Casas Grandes	109420	0.6	435	475.977	5.7	27.13		22.7	4.4
			18203247	100.0		67084.47		4476.846	2224.7	199.7	6501.8

En el estado de Sonora ocurren 11 comunidades bióticas cada una de estas regiones cuenta con una flora y una fauna características y van desde regiones con afinidades norteñas (neárticas) hasta regiones con afinidades sureñas (neotropicales). Entre las primeras podemos mencionar al Bosque Madreño Siempreverde y entre los segundos al Bosque Deciduo Sinaloense. Es importante hacer notar que la clasificación de comunidades bióticas no clasifica el extremo Sur del Estado, sin embargo, por el clima y vegetación de la región esas regiones pueden asignarse a dos comunidades: Matorral Espinoso Sinaloense y Bosque deciduo Sinaloense, ver figura 9 y tabla 3. [5]

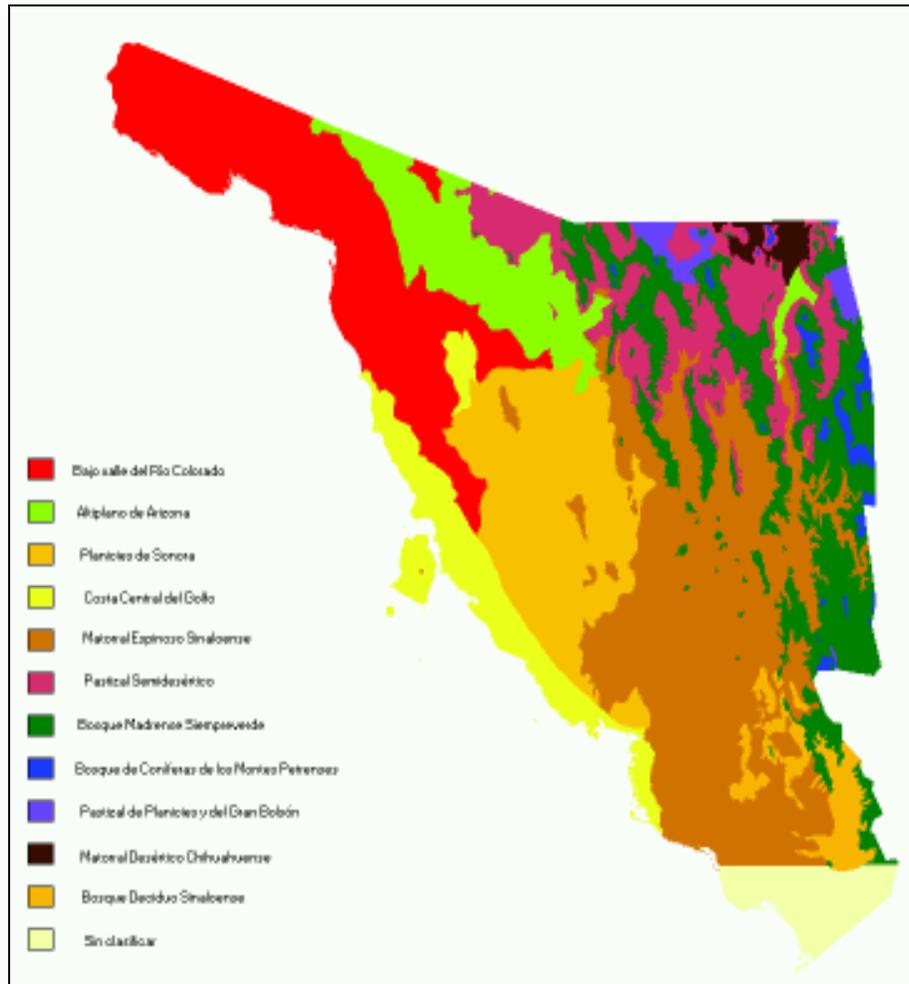


Figura 9. Comunidades bióticas en el Estado de Sonora. [12]

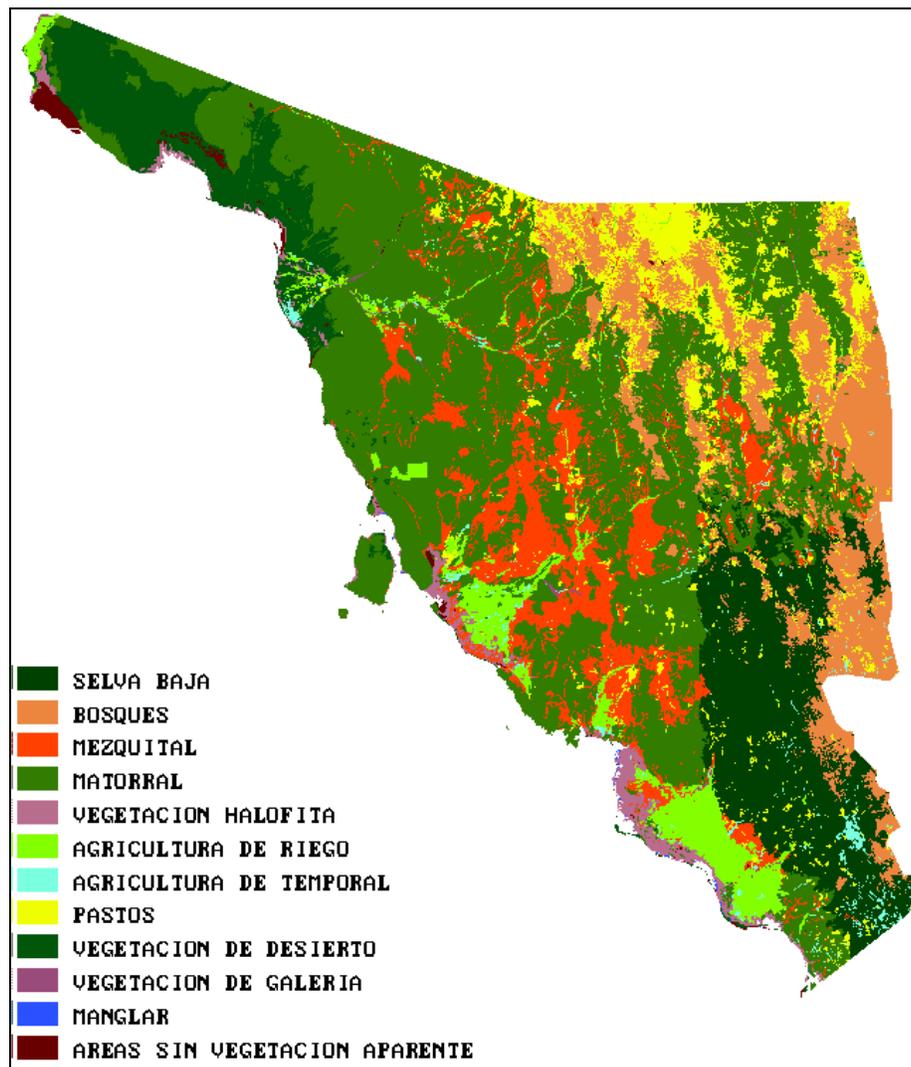


Figura 10. Uso del suelo y vegetación del estado de Sonora. [12]

Tabla 3. Extensión territorial que ocupan las comunidades bióticas en Sonora. [12]

COMUNIDAD BIÓTICA	ÁREA (HAS)	COMUNIDAD BIÓTICA	ÁREA (HAS)
Matorral Espinoso Sinaloense	45983.92969	Sin Clasificar	5830.310059
Bajo Valle del Río Colorado	29967.9707	Otras	10538.05017
Bosque Madreño Siempre verde	24379.46094	Bosque deciduo Sinaloense	4939.470215
Planicies de Sonora	23171.58984	Pastizal de Planicies y del Gran Bolsón	1992.819946
Pastizal Semidesértico	16698.66992	Bosque de Coníferas de los Montes Petreses	1927.229981
Altiplano de Arizona	13857.04004	Matorral desértico Chihuahuense	1678.530029
Costa Central del Golfo	11606.46973		

Para el estado se reconocen 53 tipos de vegetación cuya distribución se muestra en la figura 10 y tabla 4. Estas se agrupan en 12 grandes conjuntos.

Tabla 4. Porcentaje de cobertura que ocupa el tipo de vegetación del territorial estatal sonorense. [12]

VEGETACIÓN	COBERTURA	VEGETACIÓN	COBERTURA
Selva Baja	12.92	Pastizales	6.01
Bosques	12.37	Vegetación Secundaria	0.05
Mezquital	10.09	Vegetación de galería	0.05
Matorrales	44.3	Manglar	0.01
Vegetación halófito	1.81	Áreas sin Vegetación Aparente	0.47
Agricultura de Riego	4.77	Vegetación de Desiertos	6.39
Agricultura de Temporal	0.27		

En 1993 Rzedowski estimó una riqueza de especies potencial de 4,000 especies para el estado de Sonora, aproximadamente el 13.334%. [32] Sin embargo, Parra-Salazar y Sapién-Chávez consideran la posibilidad de ocurrencia de hasta 6,000 formas, aumentando el porcentaje de flora del estado a la quinta parte del total estimado para México. [31]

Mientras que en materia de fauna, tenemos que se han identificado 230 formas de mamíferos terrestres (8 endémicas), equivalentes al 51.22% de la diversidad total de la república; 516 formas de aves, que representan el 48.11% del total en la república; 210 formas diferentes de reptiles (43 amenazadas, 5 en extinción, 23 bajo protección especial y 20 raras), 38 formas de anfibios (2 amenazadas, 3 bajo protección especial, 6 raras). Se han identificado 8,000 especies de invertebrados marinos en el mar de Cortés, más de 875 especies de peces (77 especies son endémicas); ocho formas de reptiles marinos; 17 formas de aves marinas y diversos mamíferos marinos (lobo marino, cetáceos). 38 formas de anfibios (2 amenazadas, 3 bajo protección especial, 6 raras).

Se han identificado 8,000 especies de invertebrados marinos en el mar de Cortés, más de 875 especies de peces (77 especies son endémicas); ocho formas de reptiles marinos; 17 formas de aves marinas y diversos mamíferos marinos (lobo marino, cetáceos).

2.2.2. Aspectos del medio socioeconómico.

Según el los Resultados Definitivos del II Censo de Población y Vivienda 2005, el estado de Sonora tenía, al 17 de octubre de 2005, un total de 2 394 861 residentes habituales, que representan 2.3% de los 103.3 millones de habitantes que conforman la población nacional.

En el periodo que media entre el levantamiento del XII Censo General de Población y Vivienda 2000 y el II Censo de Población y Vivienda 2005, la población de la entidad se incrementó en prácticamente 178 mil personas, lo que significa una tasa media de crecimiento anual de 1.4%, similar al del lustro anterior (figura 11).

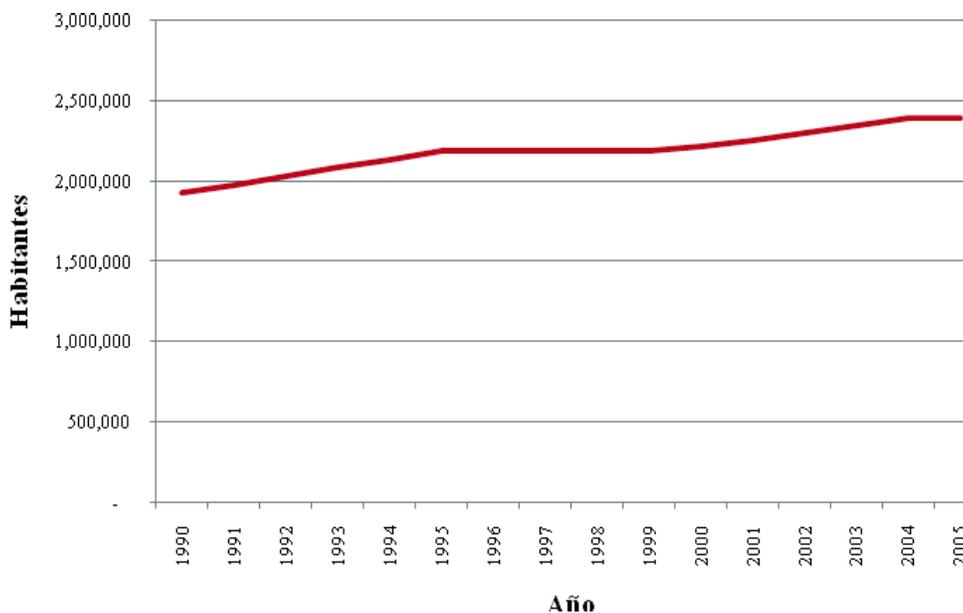


Figura 11. Crecimiento poblacional del estado de Sonora.

Los municipios más dinámicos en crecimiento poblacional se ubican en la Frontera Norte y en Hermosillo, destaca Puerto Peñasco: crecimiento muy alto 2000-2005, mientras que todos los municipios de la Sierra tienen tasas negativas.

Hermosillo es el único municipio de la región Llanura que crece y que impacta los indicadores ya que concentra más del 70 % de la población de esta región. Por otro lado, en la Región Sur se presentan tasas de crecimiento bajas, con Cajeme y Navojoa con tasas entre 0 y 1 % anual.

De acuerdo a cifras definitivas del INEGI sobre el PIB por Entidad Federativa, durante el 2004 la economía sonorensa creció a una tasa real de 7.2 por ciento, para el 2005 y durante el primer semestre de 2006, las estimaciones sitúan el crecimiento económico de Sonora a tasas del 5.7 y 6 por ciento, respectivamente, promediando en el período de

2004 a junio de 2006 un avance del 6.3 por ciento, equivalente a 2.2 puntos porcentuales más que el crecimiento promedio nacional que fue de 4.1 por ciento. El PIB por habitante, en Sonora, pasó de 68 mil 400 pesos al cierre de 2003, a 90 mil al primer semestre de 2006; es decir, pasa de 6 mil 100 a 8 mil 300 dólares, que representan un incremento de 32.9 por ciento, (Tablas 5 y 6 y Figura 12). [11]

Tabla 5. Participación del Estado de Sonora al PIB Nacional en miles de pesos a precios de 1993 en valores básico. [11]

Año	Total Nacional	Sonora	Participación Estatal en el PIB Nacional %
1997	1,270,744,065	34,975,297	2.75
1998	1,334,586,475	37,132,658	2.78
1999	1,384,674,491	38,667,816	2.79
2000	1,475,927,095	41,473,857	2.81
2001	1,475,438,954	41,808,649	2.83
2002	1,486,792,334	39,918,865	2.68
2003	1,507,449,991	41,035,854	2.72
2004	1,570,126,305	44,008,814	2.80
2005 ^{2/}	1,617,230,094	46,517,300	2.88
2006 ^{3/}	1,699,708,828	49,308,338	2.90

Las actividades económicas en la entidad han mostrado variaciones en su estructura durante la segunda mitad de este último siglo del milenio, reflejándose en la distribución territorial de la fuerza de trabajo y de las unidades de producción; es notable el crecimiento en la participación del PIB estatal de las actividades del sector secundario en general, combinando con el decrecimiento en el sector primario y una participación relativamente estable y predominante de las actividades del sector terciario.

Tabla 6. PIB del estado de Sonora por actividad productiva. [11]

Concepto	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005 ^{1/}
Total	38,667,816	41,473,857	41,808,649	39,918,865	41,035,853	44,008,814	46,517,300
1. Agropecuaria, silvicultura y pesca	4,535,580	4,064,356	4,585,365	4,495,612	4,950,996	4,494,603	4,877,119
2. Minería	723,289	825,218	800,689	728,340	760,669	901,523	1,000,302
3. Industria manufacturera	6,989,066	7,685,322	7,181,351	6,524,172	6,210,158	6,692,510	6,978,606
4. Construcción	1,629,697	1,725,408	1,406,174	1,258,033	1,023,041	1,266,436	1,296,122
5. Electricidad, gas y agua	1,149,298	1,128,432	1,175,093	1,128,825	1,118,662	1,164,518	1,186,635
6. Comercio, restaurantes y hoteles	8,197,633	9,637,688	9,886,633	9,065,623	9,803,624	11,342,151	11,682,543
7. Transporte, almacenaje y comunicaciones	4,197,379	4,742,403	5,018,957	4,878,000	5,065,777	5,855,041	6,646,914
8. Servicios financieros, seguros, actividades inmobiliarias y de alquiler	5,312,920	5,413,098	5,560,842	5,664,908	5,765,271	5,807,676	6,063,578
9. Servicios comunales, sociales y personales	7,268,273	7,495,302	7,494,683	7,487,413	7,619,916	7,684,352	8,022,946
10. Servicios bancarios imputados	-1,335,319	-1,243,370	-1,301,138	-1,312,061	-1,282,261	-1,199,996	-1,237,465

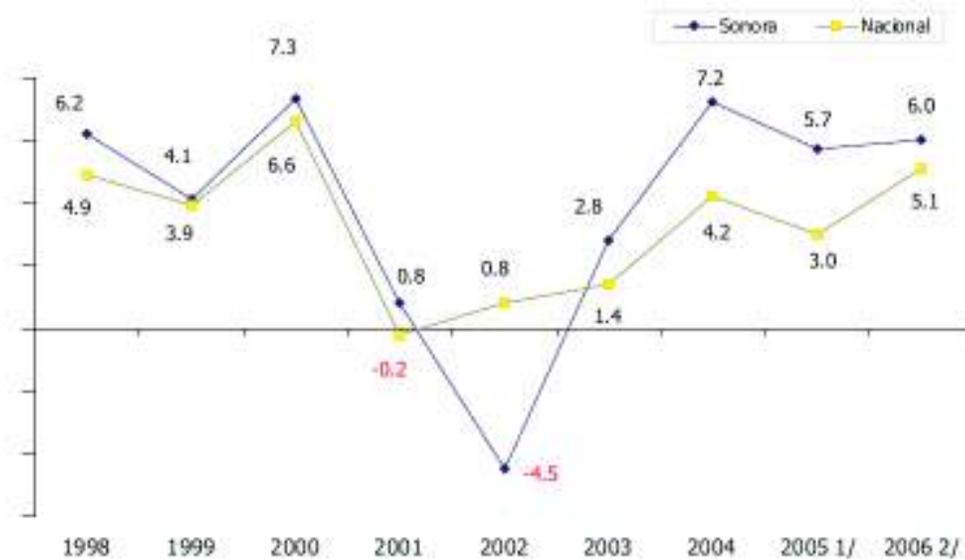


Figura 12. Tasa de crecimiento de la economía nacional y del estado de Sonora. [11]

En el 2005, la participación del sector comercio, restaurantes y hoteles es la más significativa, ya que cuenta con una aportación de 24.5% del PIB estatal total, seguido por los servicios comunales, sociales y personales con un 16.8%. Por su parte, el sector industrial manufacturero que aporta 14.6%, en tanto que el sector agropecuario participa con el 10.2%. Otros sectores de gran aportación son el transporte, almacenaje y comunicaciones, así como los servicios financieros y comunales que juntos representan el 26.6% (figura 13).

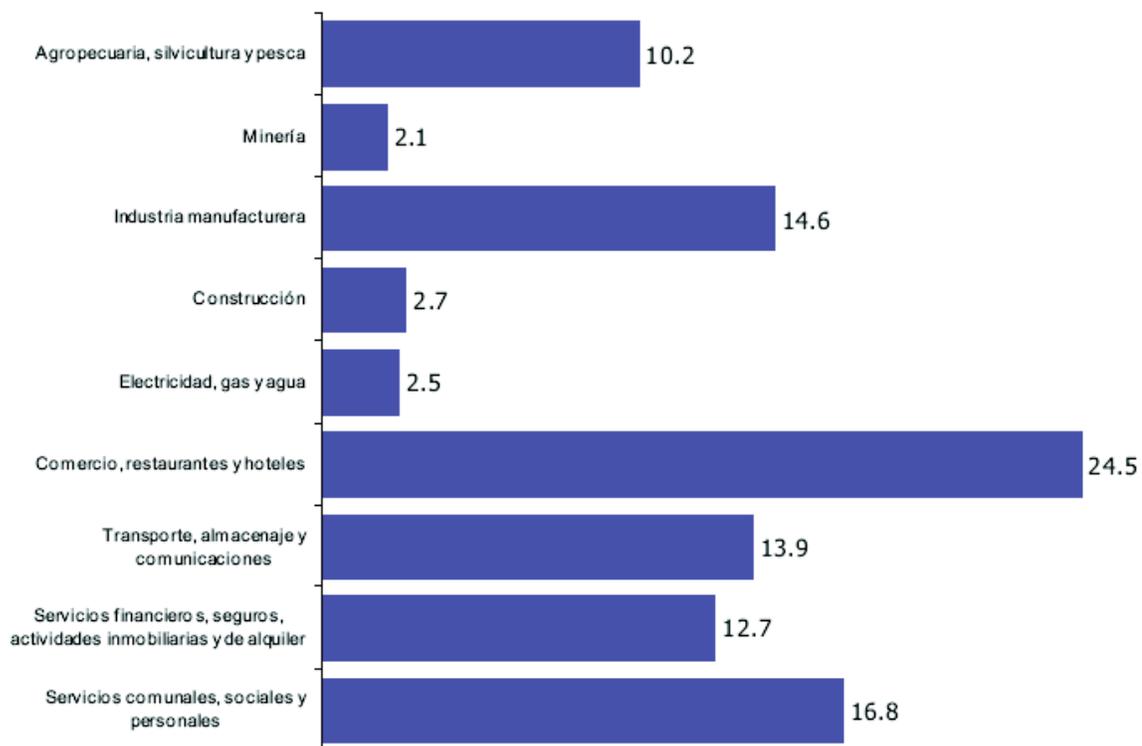


Figura 13. Aportación de las actividades productivas al PIB estatal sonorense. [11]

De acuerdo con los resultados del Censo de población y vivienda 2005, para ese año en el estado había un total de 614,957 viviendas, de las cuales 598335 estaban habitadas por un promedio de 3.9 habitantes, la vivienda tuvo una tasa de crecimiento de 2.25 para el periodo 2000-2005. Del total de viviendas 97% cuenta con cobertura de agua potable, 93.4% con servicio de alcantarillado, 32% con servicio de saneamiento y 97% con energía eléctrica.

El estado de Sonora, tradicionalmente ha sobresalido por la producción del sector primario; especialmente el agrícola y ganadero.

Según el Programa Estatal de Desarrollo Urbano, en el estado existen 11 distritos de desarrollo rural, a saber: 139 Caborca, 140 Magdalena, 141 Agua Prieta, 142 Ures, 143 Moctezuma, 144 Hermosillo, 145 Mazatán, 146 Sahuaripa, 147 Guaymas, 148 Cajeme y 149 Navojoa; de acuerdo al VII Censo Agrícola, Ganadero y Forestal presentan la existencia de 1'308,932 Has. de labor, de las cuales 864,232 Has. (66%) son de riego y 444,700 (34%) son de temporal.

Según datos presentados en el tercer informe de gobierno del estado de Sonora en el 2006, para el periodo agrícola 2004-2005 se sembraron 500,690 hectáreas de las cuales 329,057 se utilizaron para el periodo otoño invierno, 102,998 para el periodo primavera verano y 68,635 para cultivos perennes, de esta superficie de cosecharon 473,722 hectáreas obteniendo la producción señalada en la tabla 7 y 8, destinándose a la siembra de los productos señalados en las figuras 14 y 15.

Tabla 7. Superficie sembrada y cosechada por ciclo y la producción obtenida en el estado de Sonora. [11]

Subciclo	Superficie Sembrada (has)			Superficie Cosechada (has)		
	2003-2004	2004-2005	2005-2006 ¹	2003-2004	2004-2005	2005-2006 ¹
Otoño - Invierno	306,340	329,057	384,385	274,371	326,198	380,449
Primavera - Verano	87,556	102,998	72,809	86,582	80,431	65,500
Perennes	72,408	68,635	79,014	70,456	67,093	76,430
Total	466,304	500,690	536,208	431,409	473,722	522,379

Subciclo	Producción Obtenida (Tons)			Valor de la Prod. (miles pesos)		
	2003-2004	2004-2005	2005-2006 ¹	2003-2004	2004-2005	2005-2006 ¹
Otoño - Invierno	1,627,731	2,264,721	2,773,555	3,486,335	5,212,229	6,086,579
Primavera - Verano	604,656	625,582	685,067	1,291,404	1,446,228	1,298,530
Perennes	811,498	828,519	823,853	4,167,041	4,552,592	3,675,976
Total	3,043,885	3,718,822	4,282,475	8,944,780	11,211,048	11,061,085

Tabla 8. Inventario de producción de cultivos en toneladas métricas del estado de Sonora.

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 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 Forr. en Verde	25,889	54,316	128,886	73,903
Avena	Avena grano			0	
Cacahuate (en vaina)	Cacahuate	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

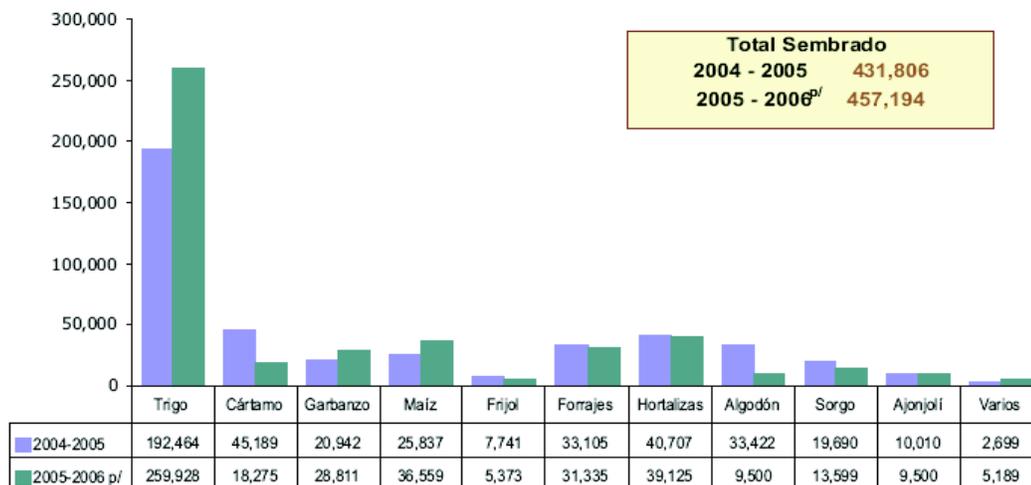


Figura 14. Superficie sembrada por tipo de cultivo en el estado de Sonora. [11]

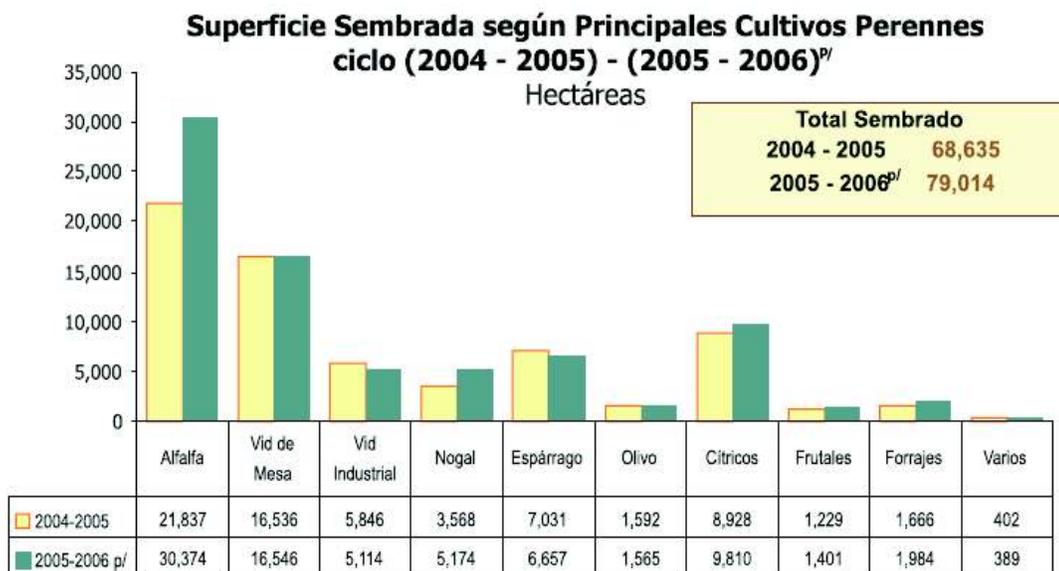


Figura 15. Superficie sembrada por tipo de cultivo perenne en el estado de Sonora.[11]

En las tablas 9 y 10 se presentan los datos proporcionados por la Oficina Estatal de Información para el Desarrollo Rural Sustentable del Estado de Sonora (OEIDRUS), correspondientes a la aplicación estándar de fertilizante por hectárea y la superficie de cultivo sujeta a la quema en el Estado de Sonora.

Tabla 9. Datos sobre aplicación de fertilizantes del estado de Sonora.

CONCEPTO	1990	1995	2000	2005
Área total (ha)	615,585	615,585	546,358	480,323
Área fertilizada (ha)	596,502	596,502	529,421	465,433
Índice de aplicación de fertilizante (kg N/ha)	17.9	17.9	17.9	17.9
Cantidad (kg N)	10,677,383	10,677,383	9,476,634	8,331,258

Tabla 10. Tierras de cultivo del estado de Sonora 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

La ganadería, junto con la agricultura, constituye una parte importante en la estructura económica de Sonora. Existen en el estado una serie de unidades productivas que tienen como base de su actividad, la crianza de especies animales, principalmente el bovino, en sistemas de producción intensivos y extensivos. Con base en información obtenida en el Sistema de Información Agropecuaria de Consulta (SIACON) y el Anuario Estadístico

del Estado de Sonora, disponible en el INEGI, en la tabla 11 se muestra la producción de cabezas por tipo de ganado al año.

Tabla 11. Cabezas de ganado por año en el estado de Sonora.

TIPO DE GANADO	CANTIDAD DE ANIMALES POR AÑO			
	1990	1995	2000	2005
Ave carne	3479959	210000	382118	509875
Bovino carne	1623622	1283476	1104944	1457468
Caprino	109987	25600	24776	45988
Guajolote	0	0	328588	437286
Ovino	30805	14765	27067	41023
Porcino	1156048	1155500	1208092	1206508
Ave ponedora	12885323	10505800	10618045	11411925
Bovino leche	0	10700	12500	18248
Abeja	57115	43778	32300	35420
Equino	79716	79716	79716	79716

El estado de Sonora se caracteriza porque su potencial minero se basa en una amplia gama de minerales, siendo los principales wolastonita, cobre, oro, plata, grafito y barita. Los fundos mineros identificados se encuentran dentro de 8 grandes regiones mineras las cuales engloban a 14 distritos y 4 zonas mineralizadas, localizadas en la porción centro y noreste de la entidad.

La participación de la actividad minera en el PIB estatal para 2005 fue de 2.1%, con un valor de la producción de \$21,633,483 miles de pesos (tablas 12 y 13).

Existen cinco plantas generadoras de energía eléctrica en el Estado de Sonora ver tabla 14. 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 combustóleo. 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. [7]

Tabla 12. Toneladas de producción minera en el Estado de Sonora.[11]

Producto Mineral	2003	2004	2005	2006 ^{ef}
Oro ^{1/}	5,796	6,011	7,355	12,051
Plata ^{1/}	92,203	98,422	120,932	115,310
Cobre ^{2/}	272,316	315,978	340,369	308,362
Molibdeno	11,602	10,571	13,404	13,800
Fierro	87,200	85,000	146,435	106,387
Grafito	17,086	18,025	20,022	19,120
Carbón Antracítico	21,600	39,000	40,500	38,000
Barita	15,434	1,350	-	-
Wollastonita	30,750	28,590	30,757	40,024
Otros ^{3/}	812,454	1,240,386	1,093,004	861,335

Tabla 13. Miles de pesos del valor de la producción minera en el Estado de Sonora.[11]

Producto Mineral	2003	2004	2005	2006 ^{ef}
TOTAL	7,285,445	15,922,619	21,633,483	28,610,924
Oro	723,955	892,142	1,135,907	2,621,579
Plata	180,160	236,584	311,782	467,378
Cobre	5,328,163	10,437,002	12,793,148	19,594,992
Molibdeno	649,886	4,039,443	6,853,052	5,341,514
Fierro	11,418	12,750	13,920	12,492
Grafito	16,527	19,026	22,376	21,675
Carbón Antracítico	8,640	17,550	18,225	20,900
Barita	12,676	2,598	-	-
Wollastonita	60,186	99,771	99,065	119,711
Otros ^{3/}	293,834	165,753	386,008	410,683

Tabla 14. Infraestructura eléctrica del Estado de Sonora. [14]

Nombre de la central	Número de unidades	Fecha de entrada en operación	Capacidad efectiva instalada (MW)	Ubicación
Hidroeléctricas				
Mocúzari	1	03-Mar-1959	10	Álamos
Oviáchic	2	28-Ago-1957	19	Cajeme
Plutarco Elías Calles (El Novillo)	3	12-Nov-1964	174	Soyopa
Termoeléctricas				
Carlos Rodríguez Rivero (Guaymas II)	4	06-Dic-1973	484	Guaymas
Puerto Libertad	4	01-Ago-1985	632	Pitiquito
Centrales fuera de servicio:				
Guaymas I	2	10-Ago-1962	0	Guaymas
Diesel				
Yécora	4	03-Jun-1977	2	Yécora
Turbogas				
Caborca	2	03-Nov-1970	42	Caborca
Ciudad Obregón	2	01-Jun-1972	28	Cajeme
Productores independientes (c. combinado)				
Hermosillo	2	01-Oct-2001	250	Hermosillo
Naco - Nogales	2	04-Oct-2003	258	Agua Prieta
Ciclo combinado				
Hermosillo	2	31-Dic-2005	227	Hermosillo
Generación total	28		2,087	

Una pequeña parte de la electricidad se genera en la planta hidroeléctrica El Novillo, que se encuentra en el municipio de Soyopa. 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 Estados Unidos de América representó otros 6 GWh en el 2004.[7]

Con excepción de la planta hidroeléctrica de El Novillo, las plantas generadoras en Sonora quemaron alguna forma de combustible fósil para generar electricidad. En el 2004, la energía procedente del uso combustóleo representó el 73% del total de energía primaria que se usó, mientras que el resto correspondió a la combustión de gas natural.

Hasta la década de los setentas, la actividad industrial tuvo una participación menor en la economía estatal, que la del sector primario. La industria sonorenses, exceptuando la de maquila y automotriz que entre las dos aportan aproximadamente el 50 % de la participación de la industria de manufactura, ha dependido en gran parte del procesamiento de los productos procedentes de la agricultura y la pesca.

Varios factores han propiciado el crecimiento industrial en Sonora, entre ellos se encuentra una excelente ubicación geográfica, mediana estabilidad laboral, abundante mano de obra, estándares de alta calidad e infraestructura industrial y de servicios adecuada, siendo las ramas industriales más relevantes la alimenticia, la metal mecánica y la de ensamble de productos electrónicos.

La industria manufacturera ha sido en los últimos años, la actividad más dinámica de la economía estatal. Así lo muestra el comportamiento del índice de volumen físico de producción, el cual después de tocar fondo en 2003 con un nivel mínimo de 113.6 puntos de base promedio, inició una ruta de expansión que al mes de abril de 2006 alcanzó un nivel de 163.5 puntos, con un incremento acumulado de 43.9 por ciento. [11]

En el 2005, el transporte terrestre se desarrolla sobre una infraestructura carretera de aproximadamente con una longitud total de 24,432.4 kilómetros, de los cuales 2711 corresponde a carreteras federales, 4000.7 a carreteras alimentadoras estatales y los 17,720.7 a brechas mejoradas, que le presta servicio a un parque vehicular registrado de 599,007 (tabla 15), según datos proporcionados por el INEGI y la Secretaría de Hacienda del Gobierno del Estado de Sonora. Además, de 2034.6 kilómetros de vías férreas concesionado a la iniciativa privada para arrastre de carga solamente, moviendo una carga de 9489 miles de toneladas. [21]

Tabla 15. Vehículos de motor registrados en circulación en el Estado de Sonora.

AÑO REGISTRO	TOTAL	AUTOMÓVILES	CAMIONES PARA PASAJEROS	CAMIONES Y CAMIONETAS PARA CARGA	MOTOCICLETAS
1980	176,518	86,583	1,596	79,535	8,804
1981	182,208	91,074	1,735	81,707	7,692
1982	190,093	97,673	1,835	83,459	7,126
1983	198,548	104,704	1,957	85,177	6,710
1984	202,976	108,761	1,956	85,946	6,313
1985	221,454	114,672	2,040	97,486	7,256
1986	228,846	118,219	2,043	100,790	7,794
1987	238,641	122,113	2,124	106,268	8,136
1988	250,631	126,998	2,227	112,862	8,544
1989	271,892	139,509	2,464	121,739	8,180
1990	299,392	156,823	2,732	131,721	8,116
1991	328,918	172,503	3,004	144,891	8,520
1992	344,101	180,054	3,015	152,497	8,535
1993	350,114	183,561	3,078	154,812	8,663
1994	354,960	185,811	3,145	156,810	9,194
1995	145,456	135,340	1,343	7,484	1,289
1996	159,335	148,304	1,504	7,963	1,564
1997	279,491	262,547	1,998	12,720	2,226
1998	238,317	144,158	1,867	89,998	2,294
1999	354,696	213,286	2,597	135,467	3,346
2000	514,396	288,643	3,399	217,799	4,555
2001	566,820	345,948	3,991	212,325	4,556
2002	662,100	420,879	4,404	232,324	4,493
2003	706,384	447,322	6,168	247,952	4,942
2004	804,810	495,809	7,609	296,380	5,012
2005	599,007	373,559	2,894	217,889	4,665
2006	709,713	455,589	3,516	244,921	5,687

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 2005, estos aeropuertos prestaron servicio a 1,469,077 pasajeros con un total de 62,631 vuelos. Existen distribuidas en el territorio estatal 124 pistas aéreas, de las cuales solamente 25 están pavimentadas. [21]

El transporte marítimo registró un movimiento de carga de 3,918.7 miles de toneladas en movimientos de altura y cabotaje, principalmente en Guaymas al que se considera el único puerto de altura en la entidad donde se concentra poco más del 77% de la infraestructura portuaria. [21]

3. METODOLOGÍA.

El inventario de GEI es un reporte que contiene las estimaciones de las emisiones y absorciones durante varios años de las emisiones de GEI anuales, por fuentes de emisiones y absorciones anuales de los GEI que resultan directamente de las actividades humanas en el estado de Sonora.

Las fuentes de emisión y absorción se agruparon en ocho sectores del inventario: Energía; Consumo de combustible residencial, comercial e industrial; transporte; industria de combustibles fósiles; procesos industriales; manejo de residuos; agricultura, y silvicultura y cambio de uso de suelo.

Para facilitar la comparación de este inventario con otros estatales o nacionales, las emisiones se presentan en millones de toneladas métricas (MTm) de emisiones brutas de CO₂e.

Las emisiones de CO₂e se obtienen multiplicando la cantidad de GEI emitida por su PCG (potencial del CO₂ es uno por ser la referencia, 21 del CH₄, 296 del N₂O, entre 120 y 12 000 para HFCs, entre 5700 y 11900 para PFCs y 22200 del SF₆) [23], el PCG es un índice basado en las propiedades radiativas de una mezcla homogénea de GEI, que mide el forzamiento radiativo producido por una unidad de masa de un gas de efecto invernadero homogéneamente mezclado en la atmósfera actual, integrado a lo largo de determinado horizonte temporal, respecto del forzamiento por dióxido de carbono. El PCG representa el efecto combinado de los diferentes períodos de permanencia de esos gases en la atmósfera, y su eficacia relativa de absorción de la radiación infrarroja saliente.[25]

Para ello, se elaboró un análisis en estrecha colaboración con dependencias del Estado de Sonora, presentando estimaciones sencillas y claras. Los resultados se basaron, en la medida de la disponibilidad de datos, en pronósticos de referencia de las mejores fuentes

estatales y regionales de las que se pueda disponer. Cuando se careció de datos sobre pronósticos confiables, se recurrió al análisis de hojas de cálculo y extrapolaciones de los índices de crecimiento de las tendencias históricas, en lugar de usar complicados modelos.

Se adoptó el mismo enfoque de contabilización de emisiones para los inventarios históricos que utiliza la EPA en su inventario nacional de emisiones de GEI y en sus lineamientos para las entidades federativas, publicados en la página de internet: http://epa.gov/climatechange/emissions/state_guidance.html. Estos lineamientos se fundamentan en las directrices dictadas por IPCC para inventarios nacionales de GEI revisadas en 1996 y aprobadas en su doceava sesión celebrada en la Ciudad de México el 10 de septiembre de 1996 y la orientación del IPCC sobre las buenas prácticas y la gestión de la incertidumbre en los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero, mismas que se pueden consultar en la página de internet <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/invs1.html>.

Las Directrices del IPCC incluyen métodos para fuentes específicas, discusiones de la base científica de los métodos, factores de emisión por defecto, hojas de cálculo para realizar cálculos del inventario e instrucciones para su elaboración.

Este inventario se realizó bajo principios contables generalmente aceptados para la evaluación de las emisiones históricas y proyectadas de GEI, mismas que se señala a continuación:

- **Transparencia:** reportar las fuentes de datos, los métodos y los supuestos con el fin de que se pueda realizar un análisis y se faciliten trabajos futuros para hacer modificaciones de mejoras posteriores, con base en nuevas aportaciones o cambios en políticas públicas. Asimismo, en caso de existir incertidumbres importantes, éstas se reporten en los inventarios.

- **Consistencia:** En la medida posible, diseñar el inventario para que tener consistencia con otros estatales y nacionales actuales o futuros. A falta de una metodología nacional para reportar inventarios GEI estatales, se tomó como punto de inicio las herramientas de la EPA para la realización de inventarios estatales, mismas que están siendo utilizadas por los estados del norte de México en sus inventarios estatales. Estas estimaciones iniciales posteriormente se podrán aumentar o modificar en caso de que sea necesario, para ajustarlas a los inventarios estatales y a las necesidades de proyecciones. Con el propósito de lograr consistencia.
- **Prioridad a las fuentes de datos estatales y locales existentes:** Al recabar los datos, en caso de haber controversia entre las distintas fuentes, se dará 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 prestará menor atención que a las que generaron mayores contribuciones de GEI.
- **Cobertura integral de gases, sectores, actividades estatales, y periodos de tiempo:** Se abordará 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 inventarios nacionales: CO₂, CH₄, N₂O, SF₆, HFCs, y PFCs. Las estimaciones del inventario corresponden al año 1990, incluyéndose los años posteriores hasta la fecha más reciente por periodos de cinco años, tomando como año base el 2005, al igual que el resto de los estados del norte de México y del inventario nacional.
- **Uso de estimaciones basadas en el consumo:** Calcular en la medida posible las emisiones generadas por las actividades que se realizan en Sonora. considerando que estas reflejan de manera más precisa su impacto, como la eficiencia energética en las emisiones globales de GEI. Además de resolver problemas de doble contabilización y exclusión que existen en el caso de emisiones múltiples.

En su forma más básica, el método usado para estimar una emisión o absorción de una fuente específica es el siguiente:

$$\text{Estimación de la emisión} = \text{Datos de actividad} \times \text{Factor de emisión.} \quad \text{Ec. (1)}$$

Donde:

Los Datos de actividad describen la magnitud anual de una actividad (p. ej., toneladas de biomasa perdidas por deforestación en cada tipo de vegetación a escala nacional en un año dado) y,

Factor de emisión es la masa de los GEI emitidos por unidad de actividad (p. ej. Gg de carbono CH₄ por tonelada de biomasa deforestada)

En muchos casos, los datos de actividad disponibles no son exactamente lo que se requiere, dado el factor de emisión particular que se usará. En estos casos, los datos de actividad deben derivarse aplicando los "factores de conversión" a otros datos, a los que se refiere aquí como "datos de actividad estimados". En dicho caso, el método básico es el siguiente:

$$\text{Estimación de emisiones} = [\text{Datos de actividad estimados} \times \text{Factor(es) de Conversión}] \times \text{Factor de Emisión.} \quad \text{Ec. (2)}$$

Usualmente hay métodos diferentes que pueden usarse para estimar las emisiones. La selección de un método particular dependerá del grado deseado de detalle de estimación, disponibilidad de datos de actividad y factores de emisión y los recursos financieros y humanos disponibles para terminar el inventario. En la terminología del IPCC, el método jerárquico más bajo o el más sencillo es el "Nivel 1", mientras que los métodos más detallados son el "Nivel 2" o el "Nivel 3".

En la elaboración de este inventario se utilizó generalmente los métodos Nivel 1, este nivel utilizan los factores de emisión por defecto del IPCC, requiriendo los datos de actividad más básicos, y menos desagregados. Sin embargo, en algunos casos, dada la disponibilidad de métodos más detallados y factores de emisión fuente-específicos, y la disponibilidad de datos de actividad más altamente desagregados, se empleo métodos de un nivel mayor.

Los detalles sobre los métodos y las fuentes de datos que se usaron para elaborar los inventarios y pronósticos de cada sector se presentan en las siguientes secciones.

3.1. ENERGÍA.

Para el desarrollo del inventario y el pronóstico de emisiones de dióxido de carbono equivalente (CO₂e) para este sector, se consideraron varias fuentes de información, 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>.
- 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. 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 las tablas 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 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 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 con base en los datos del censo disponibles en el Instituto Nacional de Geografía, Estadística, e Informática y la Tercera Comunicación Nacional ante la Convención de las Naciones Unidas.
- Volumen de consumo de combustibles fósiles: Se obtuvo directamente 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. 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).

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 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.

El método del Nivel 1 se basa en el consumo de 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 nitroso 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.

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 Estados Unidos de América. 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 la tabla 16, 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.[18]
- 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 terajulios para usar valores de rendimiento térmico promedio para cada tipo de tecnología generadora de electricidad. En el tabla 17 se presentan los valores de rendimiento térmico promedio que se usaron en este informe.[13]
- Para calcular las emisiones de GEI se usaron los factores de emisión por defecto que se indican en la tabla 18.

Tabla 16. 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

Tabla 17. 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

Tabla 18. Factores de emisión seleccionados.

TIPO DE COMBUSTIBLE	CO ₂ (kg/TJ)	N ₂ O (kg/TJ)	CH ₄ (kg/TJ)
Importación	56,100	0.1	1
Gas natural	56,100	0.1	1
Combustóleo	77,400	0.6	3

En la medida posible, para elaborar el pronóstico de los GEI se usaron cifras de pronósticos oficiales. Se intentó obtener la siguiente información: detalle 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, y 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 el pronóstico. Entre la información disponible tenemos 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 pronosticar las emisiones de CO₂e. La demanda de electricidad pronosticada se muestra en la tabla 19, en el que los valores en letra negrita representan los valores del pronóstico oficial de la SENER. [19]

La demanda de electricidad se calculo en base a las siguientes consideraciones:

- 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 el pronóstico (2005 a 2020).
- El consumo de electricidad pronosticado para cada año se calculó multiplicando por el pronóstico demográfico de Sonora.

Para pronosticar el uso de gas natural en las centrales generadoras de energía de Sonora, se baso en lo siguiente:

- De la SENER se obtuvieron 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.

Para determinar la posible generación futura de energía hidroeléctrica en Sonora, se consideró lo siguiente:

- 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 el pronóstico 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.

En cuanto, al pronóstico de las importaciones y exportaciones de electricidad en Sonora, tenemos que:

- 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. [19]
- Para el periodo de 2005 a 2020, se supuso que los valores pronosticados 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.

Con respecto a la demanda futura de combustóleo en las centrales generadoras de energía de Sonora, tenemos que:

- Únicamente se contó con información del año 2004 acerca de la cantidad de combustóleo quemado para fines de generación de electricidad. Los valores para el pronóstico 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.

Tabla 19. Valores brutos pronosticados sobre generación de energía del estado de Sonora 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

3.2. CONSUMO DE COMBUSTIBLE RESIDENCIAL, COMERCIAL E INDUSTRIAL (RCI).

Las actividades en los sectores RCI generan emisiones de CO₂, CH₄, y N₂O al quemar combustibles en calefacciones domésticas, calentadores de agua, procesos industriales, cocinas, y otras aplicaciones energéticas.

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 sector industria de combustibles fósiles.

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 CO, 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.

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.

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 Sonora y de información sobre energía para el transporte aportada por Petróleos Mexicanos. 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 del pronóstico se calcularon usando el índice de crecimiento medio anual (3.9) del periodo de 1990 a 1998.

El consumo estatal de gas licuado de petróleo (GLP) y el consumo pronosticado se obtuvieron de la SENER. [19] 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 del pronóstico, 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. La tabla 20 muestra la distribución del consumo nacional de GLP por subsector durante los años del inventario y de la proyección.

Tabla 20. Distribución porcentual 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

Los datos sobre el consumo estatal de gas natural y el consumo pronosticado se obtuvieron de la SENER.[19] 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 del pronóstico, 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. La tabla 21 muestra la distribución parcial del consumo nacional de gas natural por subsector durante los años del inventario y de la proyección

Tabla 21. Distribución porcentual parcial del consumo de gas natural en Sonora.

SUBSECTOR	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	13	16	5.4	2.6	1.4	1.0	1.3	1.0	1.0	1.1	1.4

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. 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.

3.3. TRANSPORTE.

Los subsectores de este sector corresponden 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.

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 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). [33] A continuación se expresa el método utilizado:

$$\text{Emisión} = \sum [\text{Combustible}_a \times \text{FE}_a] \quad \text{Ec. (3).}$$

En donde:

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

Combustible_a = combustible vendido en terajulios (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.

a = tipo de combustible.

La información sobre consumo de combustible en cada año se obtuvo directamente de (PEMEX) y de la SENER. Debido a la limitada información sobre el consumo de energía en el transporte carretero diesel y en embarcaciones marinas, para el cálculo se usaron datos estimados, junto con el consumo de energía por subsector en el 2005. En la tabla 22 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.

Los pronósticos 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 la tabla 23 se indican los índices de crecimiento medio anual con comentarios para su ajuste.

Tabla 22. Factores de actividad por modalidad de transporte en el estado de Sonora.

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 Estado de Sonora: registro de vehículos de uso pesado 1980-2006	Secretaría de Energía de Sonora: Sistema de Información Energética, con información de Petróleos Mexicanos. INEGI. Estadísticas de vehículos de motor registrados en circulación y Secretaría de Hacienda del Edo. De Sonora.
Embarcaciones marinas	Estado de Sonora: consumo de energía, 2005 Estado de Sonora: toneladas de pesca en aguas abiertas	PEMEX. Anuario Estadístico Estado de Sonora, Anexo Estadístico VI Informe (1997-2003)
Aviación	Estado de Sonora: consumo de combustible, 1990-2007	Secretaría de Energía de Sonora: Sistema de Información Energética, con información de Petróleos Mexicanos.
Otra	Estado de Sonora: consumo de energía, 2005	PEMEX. Anuario Estadístico

Tabla 23. Índices de crecimiento medio anual del sector transporte del estado de Sonora.

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.
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.

El transporte carretero es una fuente considerable de emisiones de GEI 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 estimados para extrapolar el consumo de energía antes y después del 2005. La selección de datos estimados 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.

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 estimados para extrapolar el consumo de energía antes y después del 2005. La selección de datos estimados 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.[20]

No se calcularon emisiones del transporte ferroviario en el inventario, ni de pronóstico debido a la falta de información sobre el consumo de combustible en este subsector.

Se incluyeron sectores de transportes que utilizan combustibles distintos al diesel y gasolina, como el 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.

3.4. INDUSTRIA DE COMBUSTIBLES FÓSILES.

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, por lo que, 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.

En las emisiones que se reportarán en el sector de Suministro Eléctrico incluyen las de CH₄, N₂O y CO₂ asociadas con la producción, el procesamiento, la transmisión y la distribución de combustibles fósiles, mientras 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 Sector Consumo de combustible RCI.

En el estado, para este sector pueden generarse emisiones 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 para calcular las emisiones de este sector, los gasoductos se consideran tuberías de gran diámetro y alta presión que transportan a través de grandes distancias el gas al punto de consumo, 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.

Mientras que la distribución se realiza por 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 CO₂, CH₄, y N₂O se generan de la quema de gas natural en motores de combustión interna que se usan para operar las estaciones de compresión.

Considerando que en Sonora 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 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 estas emisiones.

La Herramienta para inventarios estatales de GEI de la EPA (SIT, por sus siglas en inglés) facilita el desarrollo de una estimación aproximada de las emisiones de GEI de esta actividad. Las estimaciones 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 principales fuentes de información que se usaron para obtener datos de actividad fueron la Administración de Información sobre Energía del Departamento de Energía de los EE.UU. (EIA, por sus siglas en inglés) y la Oficina de Seguridad de Gasoductos del Departamento de Transporte de los EE.UU. (OPS, por sus siglas en inglés).

Las emisiones se calcularon usando SIT, haciendo referencia a los métodos y fuentes de datos señalados en el documento guía del 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", publicado en Agosto de 2004 para los sistemas de gas natural y petróleo. 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 IPCC y los datos sobre gas natural en Sonora del periodo 1990-2005 obtenidos del Balance Nacional de Energía elaborado por la SENER y publicado el 2006.

La tabla 24 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 estimados para calcular las emisiones, esta también se presenta una descripción de los datos estimados utilizados.

Tabla 24 Enfoque para calcular las emisiones históricas y proyectadas de los sistemas de combustibles fósiles.

ACTIVIDAD	ENFOQUE PARA CALCULAR LAS EMISIONES HISTÓRICAS		DATOS ESTIMADOS	ENFOQUE PARA EL PRONÓSTICO
	DATOS REQUERIDOS POR EL SIT	FUENTE DE DATOS		SUPUESTOS EN LA PROYECCIÓN
Distribución de gas natural	Número total de servicios	Censo General de Población y Vivienda 2000, INEGI.	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	Prospectiva del Mercado de Gas Natural 2007-2016, SENER	Ninguno	Valores oficiales de pronóstico 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 del Edo. De Sonora(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

3.5. PROCESOS INDUSTRIALES.

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

Las emisiones de GEI provenientes de las actividades de producción de cemento, cal y piedra caliza se calcularon usando el software denominado SIT de la EPA, y los métodos señalados en el documento guía para este sector del EIIP. El programa SIT calcula las emisiones como una función de la producción anual de cemento y cal, y el uso de piedra caliza, en toneladas métricas. La CEDES proporcionó datos de actividad del año 2005. Para los demás años del inventario, la producción de cemento, la producción de cal y el uso de piedra caliza se calcularon usando datos estimados, en este caso, el gasto anual en construcción en el Estado de Sonora del 2000 al 2007. 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 CO₂ se obtuvo directamente de los informes sobre emisiones de la industria ligera regulados 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 estimados. Se supuso que las cifras de población de Sonora eran directamente proporcionales a las emisiones de las cervecerías y fábricas de alimentos. 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. Finalmente, se supuso que las cifras sobre producción de uva eran directamente proporcionales a las emisiones provenientes de vinaterías.

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,[34] 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 IPCC, 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 publicado por el IPCC en un informe técnico especial.[26]

Asimismo, las emisiones estimadas de sustancias agotadoras de la capa de ozono 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 IPCC; 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.

En la tabla 25 se presenta el resumen del enfoque utilizado para calcular las emisiones del inventario. En la tabla 26 se muestran los supuestos que se consideraron para calcular los valores de las emisiones del pronóstico.

Tabla 25. Enfoque para calcular las emisiones del inventario.

CATEGORÍA DE FUENTE	DATOS DE ACTIVIDAD DISPONIBLES	TIPO DE DATOS ESTIMADOS DISPONIBLES	FUENTE DE DATOS DISPONIBLE
Aire acondicionado móvil	Ninguno	Índice de descarga del refrigerante Registro vehicular	Centro Mario Molina. Inventario de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero del Estado de Baja California 2005 INEGI. Estadísticas de vehículos de motor registrados en circulación. IPCC. Safeguarding the Ozone Layer and the Global Climate System: Issues related to hydrofluorocarbons and perfluorocarbons
Refrigeración y aire acondicionado estacionario	Ninguno	Población Viviendas con acceso a la red eléctrica Distribución de viviendas por número de habitaciones	Centro Mario Molina. Inventario de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero del Estado de Baja California 2005 INEGI. II Censo de Población y Vivienda 2005
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 CO ₂ en 2005	Producción de uva	Sistema de Información Agropecuaria de Consulta (SIACON)
Cervecerías y fabricación de aceites comestibles	Emisiones de CO ₂ en 2005	Población estatal	CEDES: Datos obtenidos de permisos ambientales gestionados ante CEDES
Fabricación de alimento para animales	Emisiones de CO ₂ en 2005	Población estatal	CEDES: Datos obtenidos de permisos ambientales gestionados ante CEDES
Ensamblaje	Emisiones de CO ₂ en 2005	Ninguna (emisiones insignificantes)	CEDES: Datos obtenidos de permisos ambientales gestionados ante CEDES

Tabla 26. Enfoque para el cálculo de las proyecciones del 2005 al 2020.

CATEGORÍA DE LA FUENTE	SUPUESTOS EN LA PROYECCIÓN	ÍNDICE DE CREC. 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%

3.6. MANEJO DE RESIDUOS.

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

- Gestión de desechos sólidos – emisiones de CH₄ de rellenos sanitarios municipales e industriales para desechos sólidos, lo cual representa el CH₄ incinerado o capturado para la producción de energía (esto incluye tanto rellenos sanitarios abiertos como cerrados);
- Combustión de desechos sólidos – emisiones de CH₄, CO₂, y N₂O de la combustión de desechos sólidos o la quema de desechos 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 industriales.

En el caso de la gestión de desechos sólidos, los datos de emplazamiento se obtuvieron del Sistema Nacional de Información Ambiental y Recursos Naturales (SNIARN). 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. [24]

Los desechos denominados “industriales” en los E.E.U.U. equivalen a los “residuos de manejo especial” en México. Aunque los residuos de manejo especial se han definido en la legislatura Mexicana, en práctica, estos se manejan y disponen en los mismos sitios que 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 metano en sitios de relleno.[35] 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. Según el personal de la CEDES, no se han reportado fuentes de combustión de desechos sólidos en Sonora.

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 desechos quemados por persona en sitios de tipo residencial.[8] 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), que es el 0.91%.

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 N_2O y el CH_4 . Los valores por defecto principales del SIT se indican a continuación en la tabla 27.

Tabla 27. 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 trat. 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

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 2005 de población y vivienda. 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). 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. No se contó con datos sobre el procesamiento de frutas y verduras, o de aves. 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.

3.7. AGRICULTURA.

Las emisiones que contempla este sector se refieren a las emisiones no energéticas CH_4 y N_2O procedentes del ganado y la producción agrícola. Asimismo, comprende las emisiones y los sumideros de carbono en suelos agrícolas derivados de cambios en las prácticas de cultivo. Las emisiones energéticas (quemado de combustibles fósiles en el equipo agrícola) se incluyen en las estimaciones sobre el sector RCI.

Las principales fuentes de GEI y sumideros 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.
- Gestión del estiércol: Las emisiones de CH_4 y N_2O derivadas del almacenamiento y el manejo del estiércol de ganado (Ej. en estercoleras 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 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 desnitrificación, 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 .

Las emisiones de metano de fermentación entérica para el periodo 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 IPCC. 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).

Las Directrices del IPCC de 2006 se usaron para calcular las emisiones de metano y óxido nitroso de la gestión del estiércol con datos de actividad sobre las poblaciones ganaderas del Estado de Sonora en el lapso de 1980 al 2005.

Para calcular las emisiones de CH_4 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 CH_4 y un factor de conversión de metano (FCM) ponderado para derivar el total de emisiones de CH_4 . El FCM ajusta las emisiones máximas potenciales de metano con base en los tipos de sistemas de gestión de estiércol que se emplean en Sonora.

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. Los supuestos sobre el estiércol gestionado por tipo de sistema y los factores de conversión de metano asociados se indican en las tablas 28 y 29 a continuación. Se supuso que la distribución de los sistemas de gestión de estiércol y los FCM permaneció constante durante los años del inventario y del pronóstico.

Tabla 28. Porcentaje de distribución por defecto de los sistemas de gestión de estiércol en América Latina.

GANADO	QUEMA COMO COMB.	DIST. DIARIA	DIGESTOR	LOTE SECO	SEMI- LÍQ.	OTRO	PASTIZAL	ALM. 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		

Tabla 29. Porcentaje de FCM de los sistemas de gestión de estiércol por zona climática del estado de Sonora.

GANADO	CLIMA	DIST. DIARIA	DIGESTOR	LOTE SECO	SEMI-LÍQ.	OTRO	PASTIZAL	ALM. SÓL.	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 N_2O 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 N_2O , y los resultados se suman para calcular el total de las emisiones de N_2O . La tabla 30 muestra el factor de emisión del N_2O por sistema de gestión de estiércol.

Tabla 30. Factores de emisión del N₂O 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. La tabla 31 muestra los valores por defecto aplicados a las emisiones indirectas de N₂O debido a la lixiviación y a la volatilización.

Tabla 31. Valores por defecto de las emisiones indirectas de N₂O provenientes de la gestión del estiércol.

GANADO	SISTEMA DE GESTIÓN	VOLATILIZACIÓN		LIXIVIACIÓN	
		Porcentaje	Factor emisión (kg N ₂ O-N/kg N)	Porcentaje	Factor emisión (kg N ₂ O-N/kg N)
Porc. Reprod.	Dispersión diaria	7.00	0.01	4.50	0.0075
Porc. Reprod.	Lote seco	45.00	0.01	4.50	0.0075
Porc. Reprod.	Semilíquido	48.00	0.01	4.50	0.0075
Porc. Reprod.	Otro	26.00	0.01	4.50	0.0075
Porc. Reprod.	Alm. sólido	45.00	0.01	4.50	0.0075
Aves engorda	Otro	45.00	0.01	4.50	0.0075
Vacuno lech.	Disp. diaria	7.00	0.01	4.50	0.0075
Vacuno lech.	Semilíquido	40.00	0.01	4.50	0.0075
Vacuno lech.	Pastizal		0.01	4.50	0.0075
Vacuno lech.	Alm. 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
Ave ponedora (seco)	Otro	45.00	0.01	4.50	0.0075
Ave ponedora (húmedo)	Otro	45.00	0.01	4.50	0.0075
Porc. engorda	Disp. diaria	7.00	0.01	4.50	0.0075
Porc. engorda	Lote seco	45.00	0.01	4.50	0.0075
Porc. engorda	Semilíquido	48.00	0.01	4.50	0.0075
Porc. engorda	Otro	26.00	0.01	4.50	0.0075
Porc. engorda	Alm. 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	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

La descomposición de los rastrojos de los cultivos, incluyendo los cultivos fijadores de nitrógeno, agrega nitrógeno al ciclo de nitrificación y desnitrificación 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.

La aplicación de fertilizante sintético también aporta nitrógeno al ciclo de nitrificación y desnitrificación del suelo y contribuye a que se libere N_2O a la atmósfera. Las emisiones derivadas de la aplicación de fertilizante a terrenos agrícolas se calcularon con datos nacionales sobre el consumo de fertilizantes y superficie de tierra cultivada. 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.

Las aportaciones al ciclo de nitrificación y desnitrificación 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.

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.

Las quemas agrícolas pueden generar emisiones tanto de N_2O como de CH_4 . 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. 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.

Las estimaciones del pronóstico 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 las tablas 32 y 33. 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 los pronósticos de producción pecuaria y agrícola hasta el año 2020. Los valores pronosticados se indican en las tablas 34 y 35.

Tabla 32. Índices de crecimiento aplicados a la población ganadera del estado de Sonora.

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%

Tabla 33. Índices de crecimiento aplicados a la producción de cultivos del estado de Sonora.

NOMBRE DEL CULTIVO	CRECIMIENTO MEDIO ANUAL	
	ÍNDICE (%)	PERIODO
Ajonjolí	2.7	1996-2004
Alfalfa	0.7	1993-2005
Alpiste	0	NA
Avena Forrajera	1.6	2003-2005
Avena grano	0	NA
Betabel	4.3	1991-2002
Cacahuete	2.9	1993-2005
Caña de azúcar	6.9	2002-2004
Canola	0	NA
Cártamo	1.8	1990-2005
Cebada Forrajera	2.7	1998-2005
Cebada Grano	1.6	1996-2006*
Chícharo	8.5	1991-2005
Elote	0.3	1998-2005
Forrajes	3.8	1991-2000
Frijol	3.6	2000-2005
Garbanzo Grano	1.1	1996-2005
Maíz	7.5	2000-2004
Papa	4.1	1999-2004
Pastos	1.8	1995-2005
Rábano	3.9	1998-2005
Centeno en Verde	0.6	1990-2005
Sorgo	5.3	1995-2004
Soya	7.7	1991-1993
Trigo	4.1	1996-2003
Zanahoria	2.2	1998-1999

Tabla 34. Pronóstico de población ganadera 2005-2020 del estado de Sonora.

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

Tabla 35. Pronóstico de producción de cultivos 2005-2020 del estado de Sonora.

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	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

3.8. SILVICULTURA Y CAMBIO DE USO DE SUELO

Las emisiones procedentes de la silvicultura y el uso de suelo se refieren al flujo de CO₂ proveniente de las zonas boscosas de Sonora, las cuales constituyen alrededor del 35% de la superficie territorial del Estado. 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).

A través de la fotosíntesis, los árboles y las plantas toman el CO₂ y lo convierten en biomasa forestal. Las emisiones de CO₂ se derivan de la respiración en los árboles vivos, la desintegración de la biomasa sin vida, y la combustión. 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 CO₂ es el balance neto entre las extracciones de CO₂ de la atmósfera y las emisiones hacia la misma.

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 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 desechos de jardinería que llegan a los rellenos sanitarios, y las emisiones de N₂O procedentes de los suelos con

asentamientos (los que ocurren a consecuencia de la aplicación de fertilizantes sintéticos).

Las Directrices del IPCC de 2006 para Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero 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:

$$\Delta C_B = \Delta C_G - \Delta C_L \quad \text{Ec. (4).}$$

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, el crecimiento medio anual de la biomasa de la materia seca (G_{TOTAL}), y la fracción de carbono de la materia seca (C_F). 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.

$$\Delta C_G = \sum A_i \cdot G_{TOTALi} \cdot C_{Fi} \quad \text{Ec. (5).}$$

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:

$$\Delta CL = L_{extracción} + L_{alteración} \quad \text{Ec. (6).}$$

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, la superficie forestal alterada por incendios y los registros anuales de la explotación para la fabricación de productos de madera.

Para complementar los datos históricos faltantes sobre vegetación, 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 forestada y se correlacionó las categorías forestales de CONAFOR con las del IPCC 2006. Las descripciones disponibles de terrenos forestales con categorías de CONAFOR y IPCC 2006.

En la tabla 36 se indica el incremento anual de bajo rango en los factores de la biomasa (G_{TOTAL}), correlacionado con el tipo forestal, los cuales se obtuvieron del 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

Tabla 36. Incremento anual en la biomasa del estado de Sonora.

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 Tascate	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 2004.[16] Para los demás años del periodo de 1990 al 2020, se calculó una superficie promedio usando los cinco valores históricos inmediatos. En la tabla 37 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 en la tabla 38, como se indica a continuación:

$$L_{\text{alteración}} = \{A_{\text{alteración}} \cdot BW \cdot (1 + R) \cdot CF \cdot fd\} \quad \text{Ec. (7).}$$

En donde:

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

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

BW = 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%

Tabla 37. Área alterada por incendios expresada en hectáreas del estado de Sonora.

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

Tabla 38. Factores de conversión de área forestal a contenido de carbono del estado de Sonora.

Dominio climático (i)	Zona ecológica (j)	BW (ton ms/ha)	Prom. de R (ton raíz/ton vástagos)	Prom. de CF (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

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 y CF de la tabla 38, 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.

Finalmente, del Anuario Estadístico de la Producción Forestal, publicado por la SEMARNAT sobre los años de 1995 al 2004. [17] Se obtuvo información sobre la cosecha de madera. La tabla 39 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.

Tabla 39. Volumen de producción forestal maderable en metros cúbicos del estado de Sonora.

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

Los datos subyacentes, como se muestra en la tabla 40, exponen un incremento neto anual en las reservas de carbono de las zonas boscosas de Sonora. Los números positivos indican las emisiones netas; los números negativos indican el secuestro de carbono

Tabla 40. Cambio anual en las reservas de carbono en la biomasa del estado de Sonora en 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
ΔC_B	-2,239,762	-2,487,784	-1,715,790	-2,295,303

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 la tabla 41. 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. MMtC = millones de toneladas métricas de carbono. Los números positivos indican las emisiones netas. El cambio en las reservas expresado en MMtC se convirtió en MTmCO₂e multiplicándolo por 44/12

Tabla 41 Cambio anual en las reservas de carbono de la biomasa de zonas arboladas del estado de Sonora en 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
ΔC_B	-8.21	-9.12	-6.29	-8.42

La biomasa que se quema en los incendios forestales emite CO₂, CH₄, y N₂O, además de muchos otros gases y contaminantes. Dado que en los cálculos anteriores sobre flujo de carbono total ya están computadas para el cálculo de las emisiones de CO₂, se usó la SIT, para determinar las emisiones de CH₄, y N₂O. En la tabla 42 se expone la correlación entre las categorías forestales del SIT y del IPCC 2006 y los factores de emisión asociados.

Tabla 42. 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	Sábana arbolada seca
Sub-tropical	Bosque húmedo	Bosque	Sábana arbolada húmeda
Sub-tropical	Sistema montañoso	Bosque	Otro bosque templado
Sub-tropical	Estepa	Sábana	Matorrales
Templado	Sistema montañoso	Bosque	Otro bosque templado
Tropical	Matorrales	Sábana	Bosque tropical terciario

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". 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 desechos de jardinería que se envían a los rellenos sanitarios). Sin datos que indiquen las pérdidas de biomasa en la silvicultura urbana, no se pudo calcular el flujo de carbono en este subsector.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

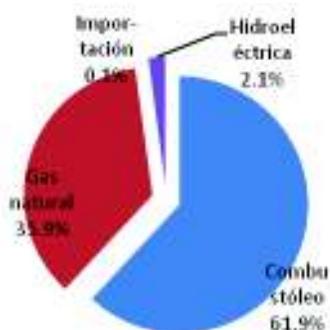
4.1. RESULTADOS POR SECTOR

En las siguientes secciones se presenta el detalle de los resultados y pronósticos de emisiones de GEI, obtenidos de la evaluación de las distintas fuentes y sumideros de CO₂, de cada una de los sectores.

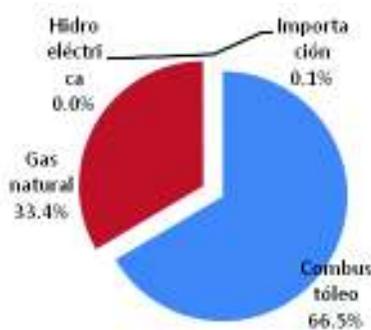
4.1.1. Energía.

En la figura 16 y en la tabla 43 se resumen las características del sistema de suministro eléctrico en Sonora para el 2004, donde podemos observar que más del 60% de la energía eléctrica suministrada en el estado proviene de la quema de combustóleo, seguido de la quema de gas natural en un 35% y el resto se importa o se genera de plantas hidroeléctricas. En una relación similar se observa la aportación de emisiones GEI donde poco más del 73% de las emisiones de este sector se generan por la quema de combustóleo, mientras que prácticamente el resto se genera por la quema de gas natural.

a) Generación bruta



b) Principal consumo de energía



c) Emisiones

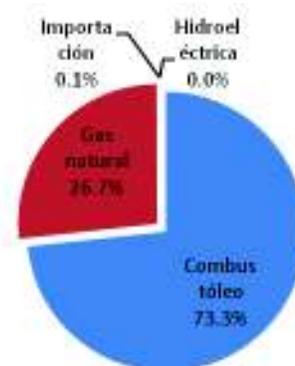


Figura 16. Resumen de las características de la generación de electricidad del estado de Sonora para el 2004.

Tabla 43. Resumen de las características de la generación de electricidad del estado de Sonora para el 2004.

COMBUSTIBLE	GENERACIÓN BRUTA DE ENER. ELÉCTRICA	CONSUMO DE ENERGÍA	EMISIONES
	GWh	Terajulios	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

La tabla 44 y la figura 17 muestra el panorama de la generación bruta de electricidad, donde podemos observar que la generación de energía eléctrica en el estado de Sonora se basa en la quema de combustibles (combustóleo y gas natural), que si bien es cierto alrededor del año 2012 se espera que la generación de energía eléctrica por gas natural sea casi igual a la generada por combustóleo, debido a que se pronostica que las plantas generadoras de energía que usan gas natural llegarán a su máximo nivel de producción en el 2012. Posterior, a este año si no se sigue invirtiendo en infraestructura de este tipo, de nueva cuenta el combustóleo empezará a incrementar su aportación.

En cuanto a la generación de energía eléctrica de plantas hidroeléctricas, para el estado de Sonora no se ha establecido una política de impulso a este sector, razón por la cual su aportación es muy pequeña, disminuyendo con el tiempo al mismo ritmo con el que se vaya incrementando la demanda.

Tabla 44. Pronóstico de generación bruta de electricidad en Sonora en GWh.

AÑO	COMBUSTÓLEO	GAS NATURAL	IMPORTACIÓN	HIDROELÉCTRICA
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

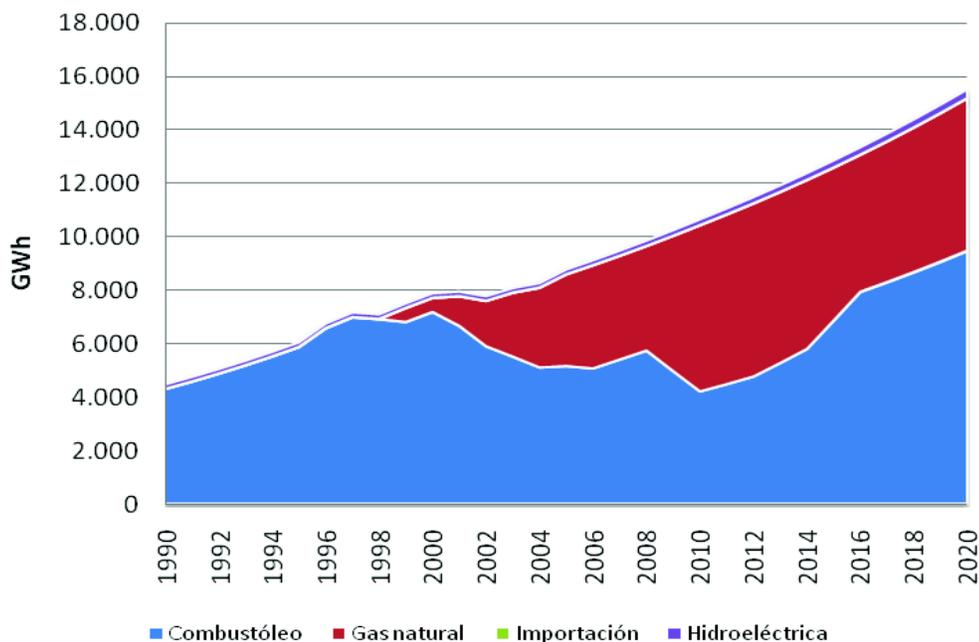


Figura 17. Generación bruta de electricidad en Sonora.

En las tablas 45 y 46 y la figura 18 se presenta los pronósticos de consumo energía que demandara el estado de Sonora, donde podemos apreciar que la base para la generación seguirá siendo la quema de combustóleo, sin embargo, este combustible a partir de la instalación de plantas turbo gas y centrales eléctricas de ciclo combinado, su consumo disminuye has el año 2012, donde vuelve a crecer, debido a que en ese año, según

información de la SENER las plantas que utilizan el gas natura llegarán a su máximo nivel de producción en el 2012.

Tabla45. Pronósticos de consumo de energía del estado de Sonora en terajulios.

AÑO	COMBUSTÓLEO	GAS NATURAL	IMPORTACIÓN	HIDROELÉCTRICA
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

Tabla46. Pronósticos de consumo de energía del estado de Sonora en terajulios.

AÑO	COMBUSTÓLEO	GAS NATURAL	IMPORTACIÓN	HIDROELÉCTRICA
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

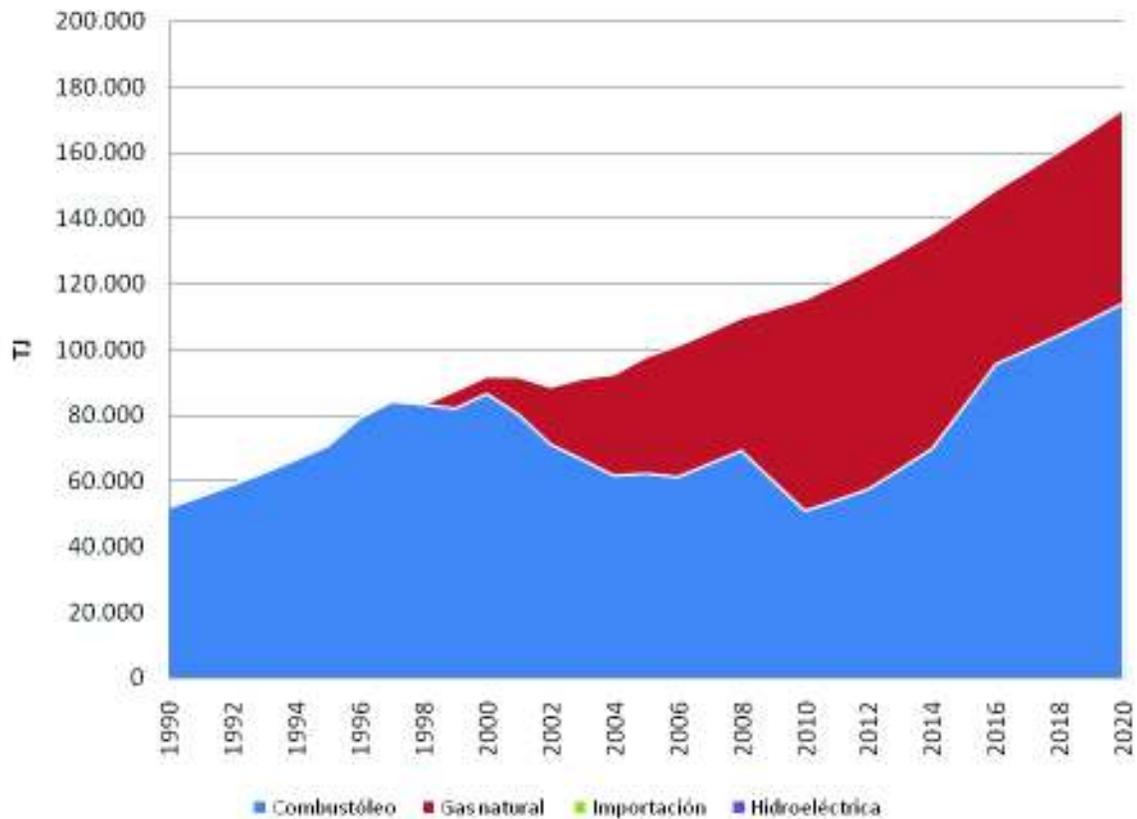


Figura 18. Pronóstico de consumo de energía eléctrica para el estado de Sonora.

Finalmente, en la tabla 47 y la figura 19 se presenta la aportación de emisiones de GEI del sector eléctrico por el tipo de combustible utilizado para generar la energía eléctrica, donde se observa que actualmente, si bien es cierto, existe una tendencia a sustituir el uso de combustóleo por el de gas natural, y como una consecuencia una disminución en las emisiones de GEI, sin embargo una vez que se deje de invertir en infraestructura de generación de energía eléctrica que utiliza gas natural y considerando que la demanda de energía eléctrica no se estabilizará, sino que seguirá en aumento, se espera que a partir de 2012, de nueva cuenta empezará a incrementarse el uso de combustóleo y con ello aumentaran las emisiones de GEI.

Tabla 47. Emisiones totales de GEI del estado de Sonora 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

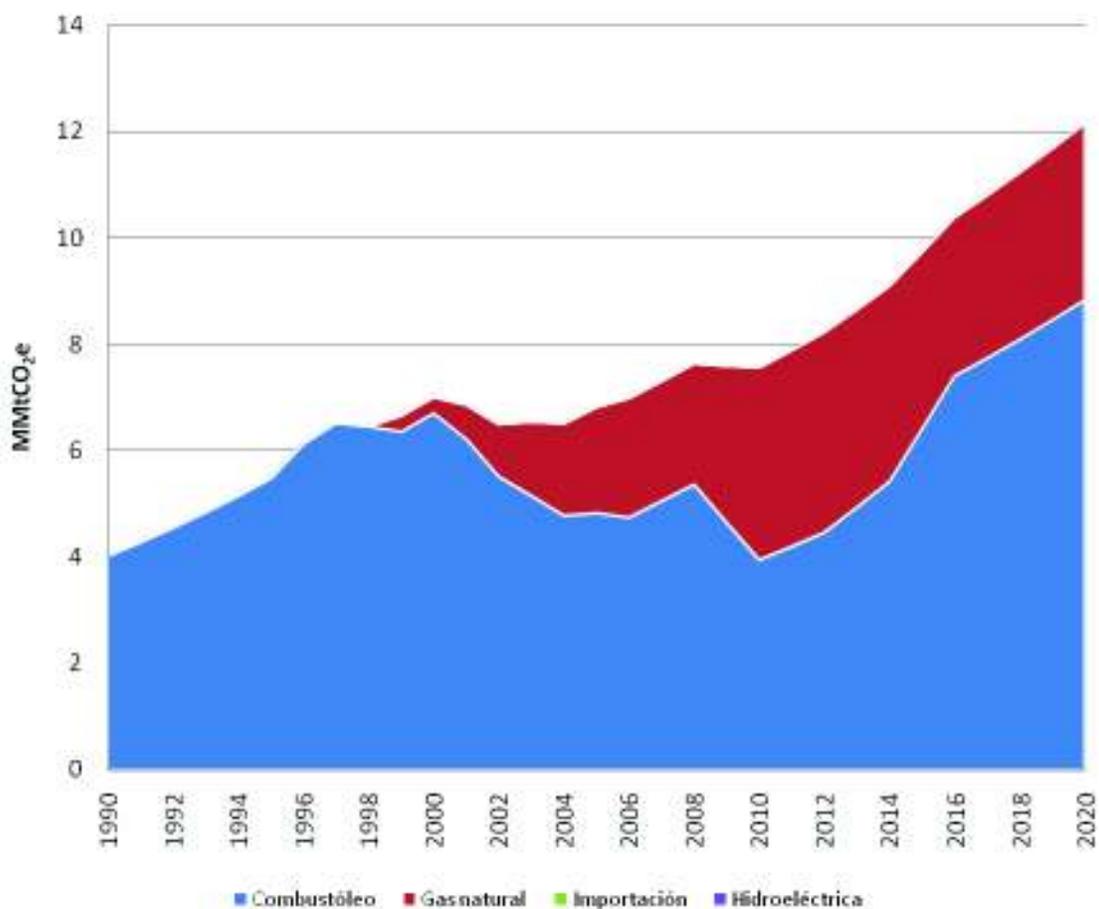


Figura 19. Emisiones totales de GEI asociadas con la demanda de electricidad del estado de Sonora.

4.1.2. Consumo de combustible residencial, comercial e industrial.

De las tablas 48 y 49, tenemos que en el 2005, el consumo de energía por el consumo de combustibles en el sector RCI fue un total de 16,500.09 terajulios (TJ). En ese mismo año, el consumo industrial representó el 52% del consumo total del sector y prácticamente el resto lo consumió el subsector residencial. Sin embargo, el consumo de GLP residencial aportó el 34.1% del total de las emisiones del sector RCI, seguido del

consumo de combustibles líquidos (diesel y combustóleo) por parte de la industria con un 33.6% y posteriormente por el consumo de gas natural en la industria con un 27.7%.

Tabla 48. Energía utilizada en el sector RCI en TJ del estado de Sonora.

FUENTE	COMB.	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020
Ag.	GLP	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Com.	GLP	0.10	0.10	0.09	0.08	0.08	0.08	0.08
Ind.	Gas/Diesel	9440	22167	4966	3187	7275	11094	16919
	GLP	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
	Gas natural	3704	4232	4485	5397	5895	6411	7228
Res.	GLP	9175	9,175	8753	7020	7385	7797	8276
	Gas natural	550	628	566	497	688	818	957
	Leña	516	520	494	399	428	457	490
TOTAL DEL SECTOR		23385.11	36722.11	19264.1	16500.09	21671.09	26577.09	33870.09

Tabla 49. Porcentaje del total de la energía utilizada en el sector RCI por fuente del estado de Sonora.

FUENTE	COMB.	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020
Ag.	GLP	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Com.	GLP	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Ind.	Gas/Diesel	40.4	60.4	25.8	19.3	33.6	41.7	50.0
	GLP	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Gas natural	15.8	11.5	23.3	32.7	27.2	24.1	21.3
Res.	GLP	39.2	25.0	45.4	42.5	34.1	29.3	24.4
	Gas natural	2.4	1.7	2.9	3.0	3.2	3.1	2.8
	Leña	2.2	1.4	2.6	2.4	2.0	1.7	1.4
TOTAL DEL SECTOR		100.0						

Las emisiones de fuentes residenciales se debieron a la combustión de gas licuado de petróleo, representando alrededor del 86% del total de las emisiones residenciales en el 2005. Las emisiones relacionadas con la combustión de leña y gas natural constituyeron el 9.6% 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 20.

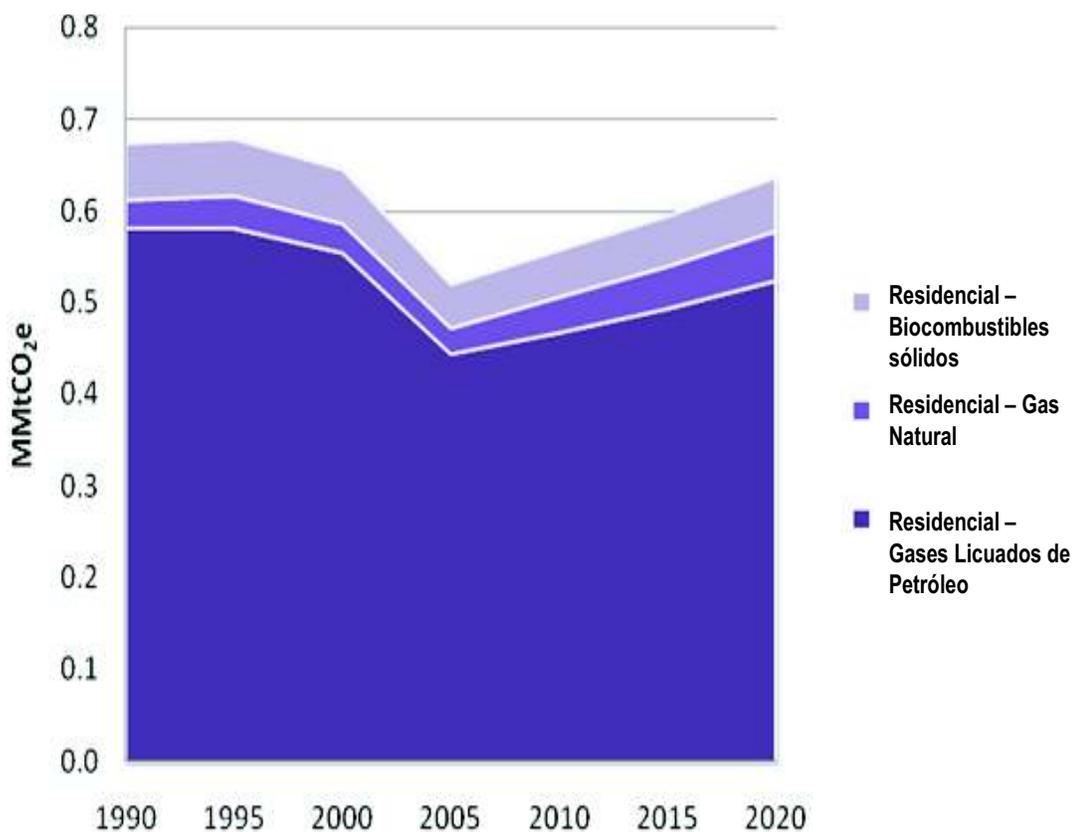


Figura 20. Emisiones de GEI de fuentes residenciales

En el 2005, las emisiones de GEI del subsector comercial muestran una tendencia a la baja de 1990 al 2005, de alrededor de 6.2 toneladas a 5.3 TmCO₂e, estabilizándose en 5.3 TmCO₂e, en el periodo estudiado se consideran que dichas emisiones se deben a la combustión de GLP. Lo anterior está relacionado con el uso de estufas para cocinar. Las tendencias históricas y proyectadas sobre las emisiones de GEI provenientes de fuentes comerciales se ilustran en la Figura 21.

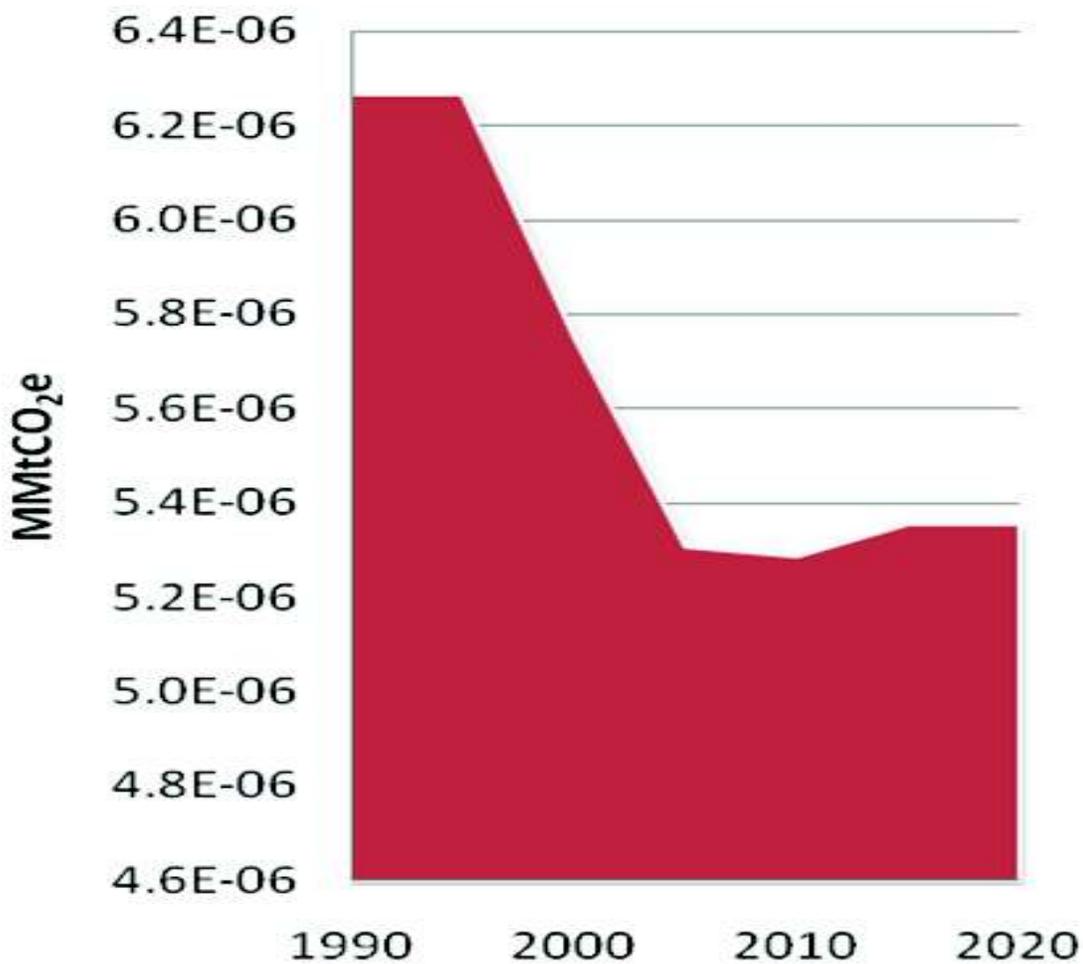


Figura 21. Emisiones de GEI de fuentes comerciales del estado de Sonora derivadas del uso de GLP.

Las emisiones de fuentes industriales se derivaron de la combustión principalmente de combustibles líquidos y de gas natural. La contribución del GLP al total de las emisiones fue insignificante. En la Figura 22 se muestran las tendencias de las emisiones históricas y proyectadas de los gases de efecto invernadero de fuentes industriales.

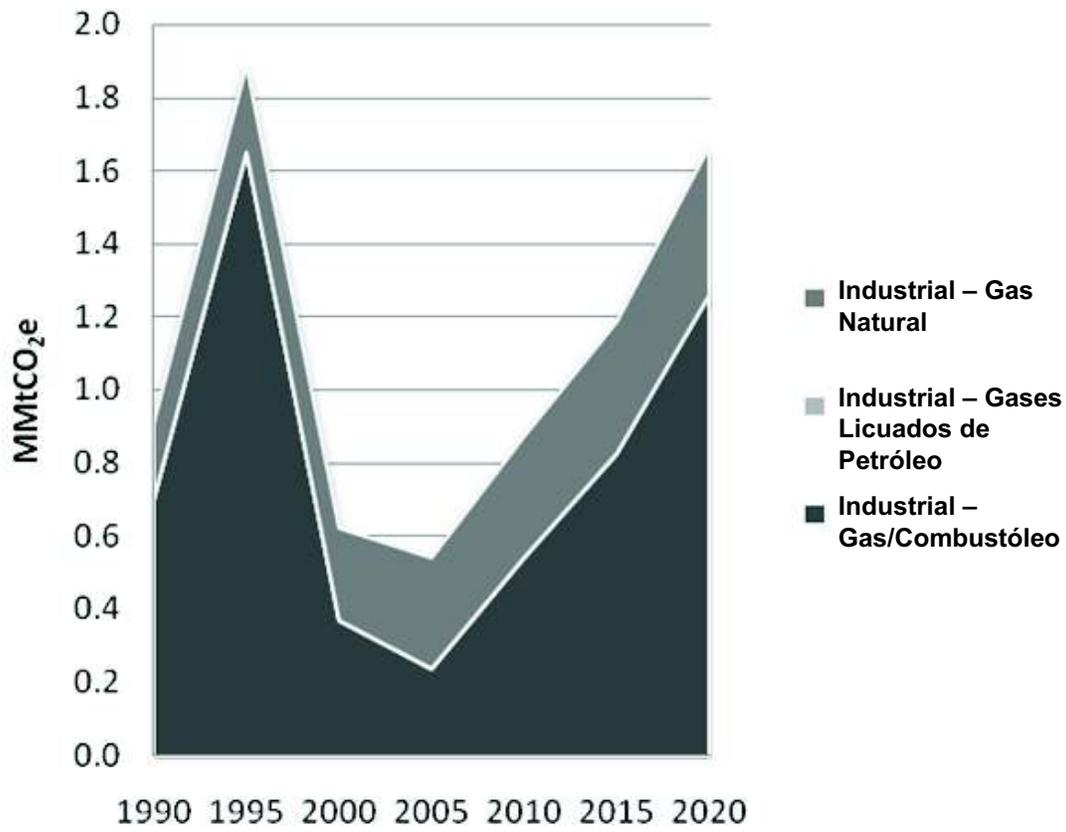


Figura 22. Emisiones de GEI derivados de la quema de combustibles en el sector industrial del estado de Sonora.

El pronóstico de la energía usada en la agricultura es insignificante en unidades de terajulios por año. Si bien es cierto, 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 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, tractocamiones, etc.) se consigna en la

sección de Transporte: Transporte carretero/Diesel; mientras que el consumo de diesel en maquinaria agrícola se describe en la sección RCI; Sector industrial.

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 en la industria, y casi el 28% de la quema de combustibles en residencias. 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 23 y tablas 50 y 51 presentan el resumen del perfil de las emisiones de gases de efecto invernadero de todo el sector RCI.

Tabla 50. Emisiones de GEI en el sector RCI del estado de Sonora en MTmCO₂e.

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 DEL SECTOR		1.58	2.57	1.26	1.06	1.43	1.77	2.3

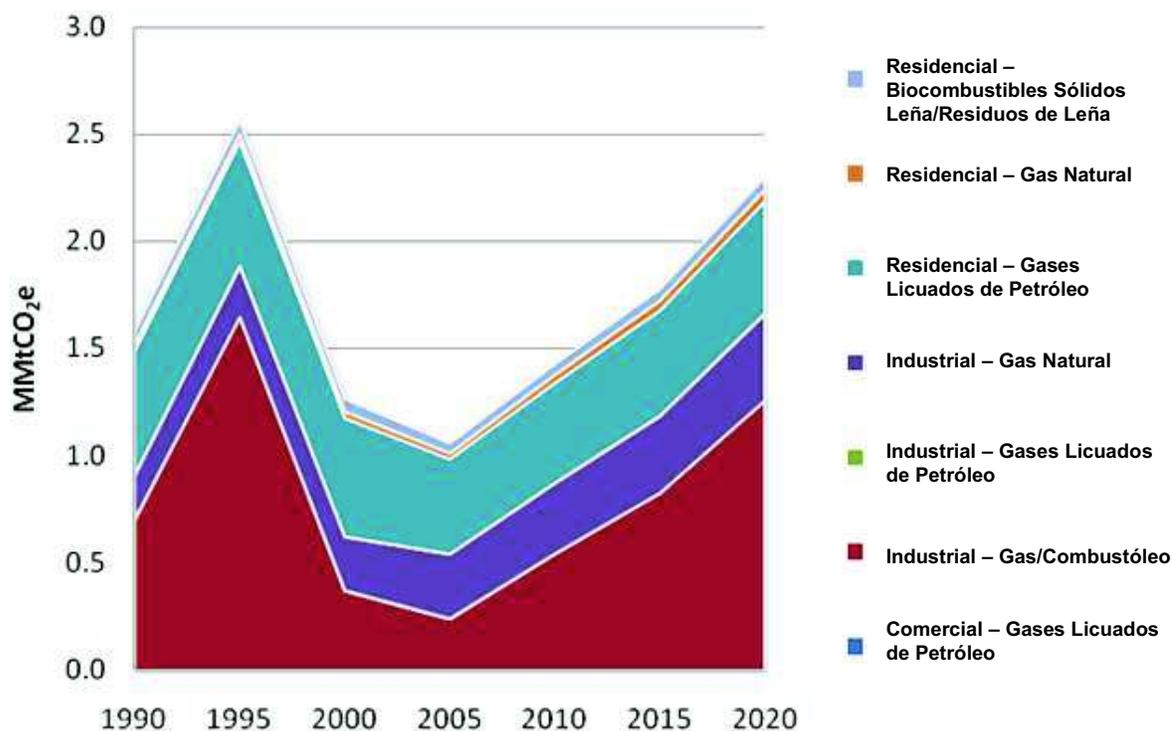


Figura 23. Emisiones de GEI en el sector RCI del estado de Sonora.

Tabla 51. Distribución porcentual de emisiones de GEI en el sector RCI del estado de Sonora.

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

4.1.3. Transporte.

En el año 2005, el sector transporte aportó 5.1 MTmCO_{2e}, de los cuales el 51% correspondieron al uso de gasolina en vehículos terrestres, seguido por el uso de diesel como carburante en transporte carretero y en una aportación similar de alrededor del 5% se encuentra las embarcaciones marinas y la aviación, el resto de las emisiones se debieron al uso de combustibles distintos a la gasolina y diesel, tales como el GLP en vehículos terrestres.

Durante los años del inventario (1990 a 2005), el total de emisiones del transporte se incrementó en un 41%, pasando de 3.61 en 1990 a niveles de alrededor de 5.1 MTmCO_{2e} 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 78% 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%, seguido del transporte carretero con un 2.9%.

En el 2020, el total de emisiones del transporte será del orden de los 8.7 MTmCO_{2e}, lo cual representa un incremento de 141% 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 79% 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 13.8%, seguido del transporte carretero con un 3.8%.

En la tabla 52 y en la figura 24 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 la tabla 53 Finalmente, en la tabla 54 se incluyen los índices de crecimiento de las emisiones en ciertos intervalos seleccionados.

Tabla 52. Emisiones de GEI del transporte del estado de Sonora en 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	0.05	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
Otra	0.66	0.66	0.66	0.66	0.66	0.66	0.66
Total	3.61	2.85	4.65	5.10	6.26	7.35	8.70

Tabla 53. Distribución porcentual de las emisiones de GEI del sector transporte del estado de Sonora.

Fuente	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020
Transporte carretero – Gasolina	46	62	42	48	51	51	50
Transporte carretero – Diesel	26	1.9	33	30	29	29	29
Embarcaciones marinas	3.0	3.7	3.6	4.0	5.1	6.9	9.1
Aviación	7.3	9.8	6.9	5.0	4.7	4.1	3.5
OTRA	18	23	14	13	11	8.9	7.6

Tabla 54. Porcentaje de cambio en las emisiones de GEI en intervalos seleccionados del sector transporte en el estado de Sonora.

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
Otra	0	0	0

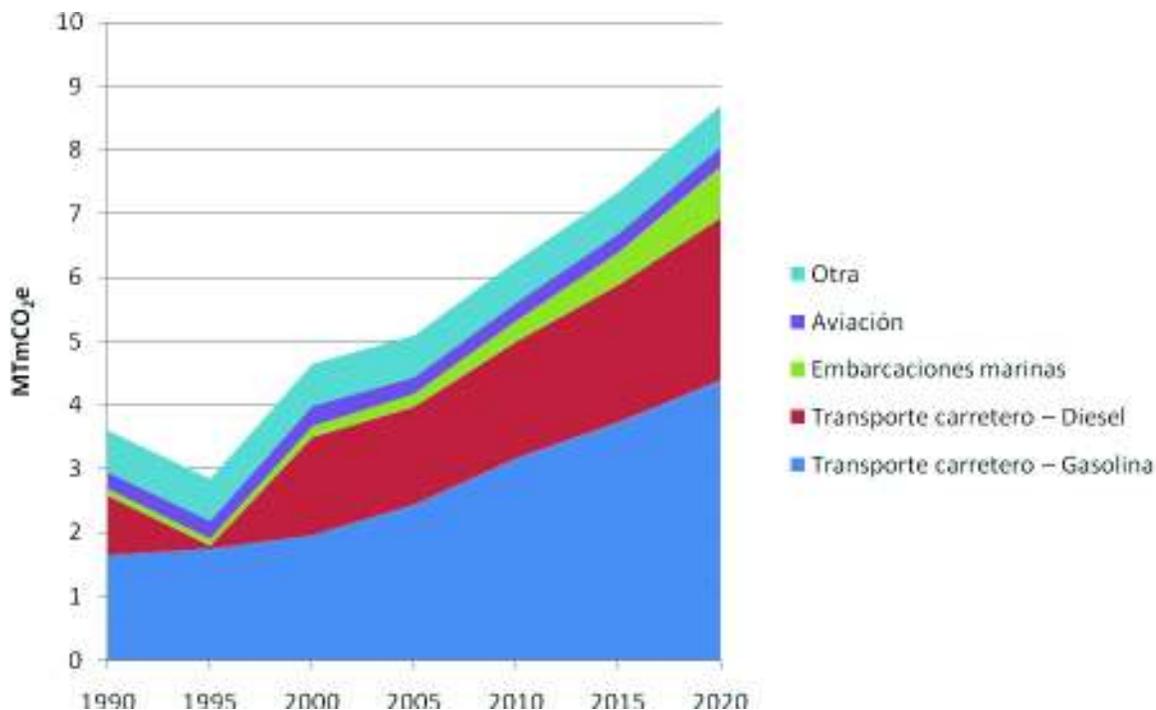


Figura 24. Emisiones brutas de GEI del transporte por combustible del estado de Sonora para el periodo 1990-2020.

4.1.4. Industria de combustibles fósiles.

Las tablas 55 y 56 muestran las emisiones estimadas de la industria de combustibles fósiles en el estado de Sonora se circunscribe a la industria de suministro y distribución de gas natural, en el 2005 ésta actividad contribuyó con 0.017 MTmCO₂e, de las cuales alrededor del 68% correspondió a las emisiones de la línea de distribución y un 24% a la transmisión.

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 25 muestra las tendencias de

emisiones al nivel de procesos en la industria de combustibles fósiles, sobre la base de MTmCO₂e.

Tabla 55. Emisiones históricas y proyectadas de la industria de combustibles fósiles del estado de Sonora 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

Tabla 56. Distribución porcentual de las emisiones históricas y proyectadas de la industria de combustibles fósiles del estado de Sonora.

Fuente	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020
Industria de gas natural	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
Transmisión	26.1	25.7	25.9	24.0	23.8	24.1	23.8
Distribución	74.5	74.3	74.1	68.2	68.7	68.8	68.5
Combustible en gasoductos	0.0	0.0	0.0	7.8	7.5	7.2	7.7

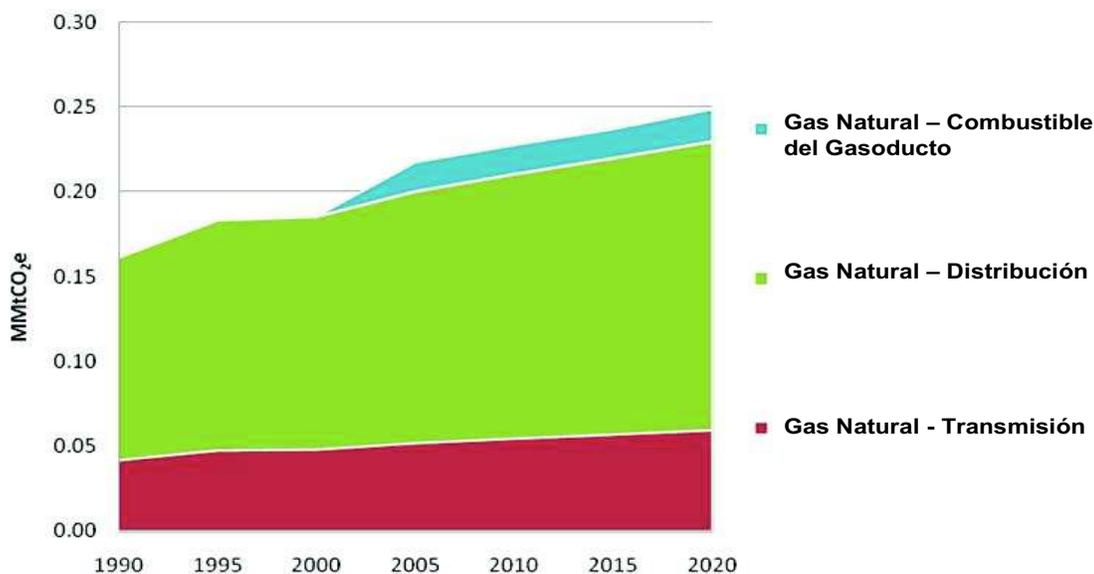


Figura 25. Tendencias en las emisiones de las industrias de combustibles fósiles en MTmCO₂e.

4.1.5. Procesos industriales.

En el 2005, las emisiones de GEI provenientes de procesos industriales sin combustión fueron del orden de 1.72 MTmCO₂e. La mayor fuente de emisiones fue la producción de cemento aportando el 90% de las emisiones del sector, seguido de la producción de cal y el uso de sustitutos de sustancias agotadoras de la capa de ozono con un 3.8% cada uno. La industria de materiales para la construcción que incluiría la del cemento, cal y uso de piedra caliza su aportación al sector en emisiones fue de alrededor de 1.656 MTmCO₂e equivalente al 96% del total de las emisiones del sector.

Los pronósticos de las emisiones de procesos industriales sin combustión son del orden de 4.15 MTmCO₂e para el año 2020. La mayor fuente de emisiones seguirá siendo la industria cementera, aportando el 90% de las emisiones del sector, sin embargo, se espera que le siga en aportación de emisiones el uso de sustitutos de sustancias

agotadoras de la capa de ozono en sistemas de refrigeración principalmente, ya que se prevé que aporte 4.6% del total de emisiones.

En la Figura 26 y en la tabla 57 se presenta el resumen de las emisiones de GEI del sector procesos industriales en el estado de Sonora, mientras que la tabla 57 nos permite observar la contribución porcentual del subsector correspondiente históricas y proyectadas.

Tabla 57. Emisiones de GEI históricas y proyectadas de los procesos industriales en MTmCO₂e.

FUENTE	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020
Producción de cemento	0.624	0.839	1.130	1.556	2.049	2.758	3.713
Producción de cal	0.026	0.035	0.048	0.066	0.087	0.117	0.157
Uso de piedra caliza	0.014	0.018	0.025	0.034	0.045	0.060	0.081
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	1.29	1.72	2.31	3.08	4.15

Tabla 58. Distribución porcentual de las emisiones de GEI de los procesos industriales en el estado de Sonora.

DISTRIBUCIÓN	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020
Producción de cemento	86	87	88	90	89	90	90
Producción de cal	3.6	3.7	3.7	3.8	3.7	3.8	3.8
Uso de piedra caliza	1.9	1.9	1.9	2.0	1.9	2.0	2.0
AC móvil	4.0	3.8	3.8	1.4	3.7	3.2	3.5
Refrigeración y AC estacionario	4.6	3.9	3.0	2.4	1.9	1.5	1.1
Otra	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0

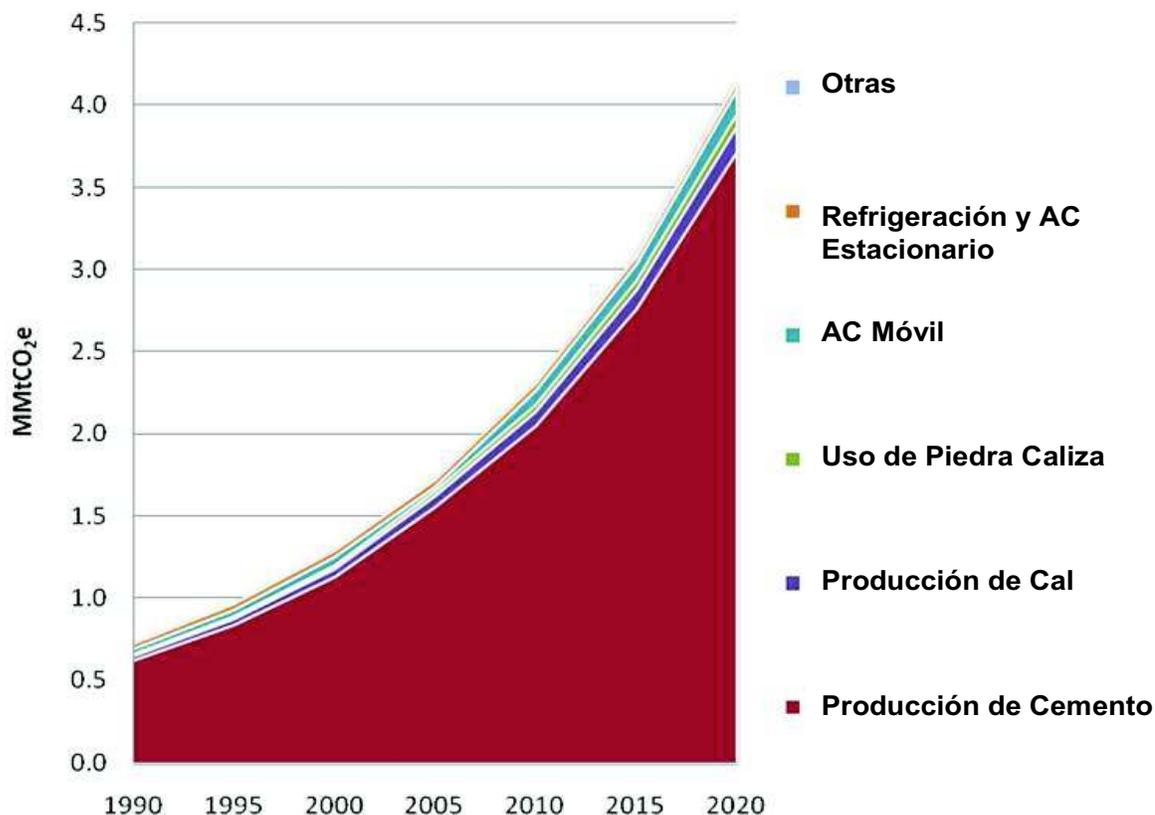


Figura 26. Emisiones de GEI de los procesos industriales, 1990-2020

4.1.6. Manejo de residuos.

Se estima que en el 2005, el sector de manejo de residuos generó alrededor de 1.34 MTmCO₂e, de las cuales 41% se generaron de aguas residuales municipales, seguido del manejo de residuos sólidos urbanos con un 36%, la quema de residuos con un 21% y finalmente las aguas residuales industriales con un 4%.

Para el periodo 1990 al 2020 se observa un comportamiento lineal ascendente, provocado principalmente por el aumento de la población y la falta de políticas públicas tendientes a disminuir las emisiones de GEI de estos sectores.

En la figura 27 y las tablas 59 y 60 muestran las estimaciones del sector de manejo de residuos históricas y proyectadas, así como su distribución porcentual por subsectores.

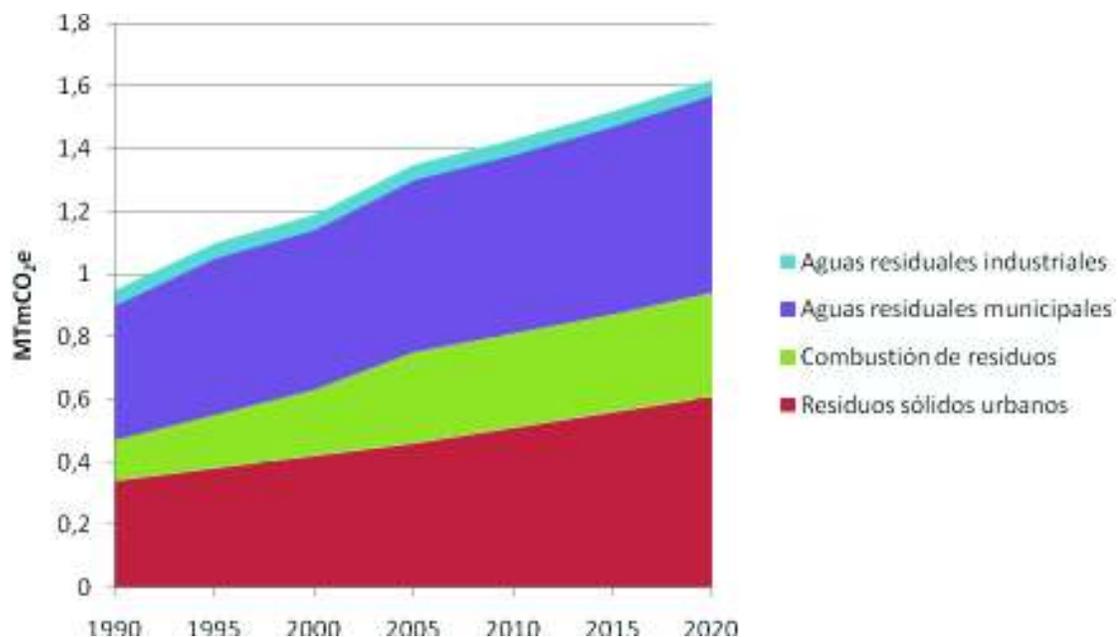


Figura 27. Emisiones de GEI derivadas del manejo de residuos en Sonora.

Tabla 59. Emisiones de GEI derivadas la gestión de desechos en Sonora en 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

Tabla 60. Distribución porcentual de las emisiones de GEI en el sector manejo de residuos en el estado de Sonora.

FUENTE	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020
Desechos sólidos urbanos	36	35	35	34	36	37	38
Combustión de desechos	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						

4.1.7. Agricultura.

Los resultados de la estimación de las emisiones de GEI para el sector agrícola arrojan un total de 3.47 MTmCO_{2e}, las cuales fueron aportadas en un 52.7 % de los gases generados por fermentación entérica, seguido por la generación de N₂O por la adición de nitrógeno a suelos agrícolas y el 5.8% y 2.0% de la gestión de estiércol y la quema de rastrojo, respectivamente.

Los niveles de emisión de GEI en el 2005 fueron similares a los niveles de emisión de 1990 (3.76 MTmCO_{2e}).

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 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 5.78%; todas las demás fuentes tuvieron un índice de crecimiento medio anual negativo del orden de 0 a 0.8%.

Durante los años del pronóstico -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 4.31 MTmCO₂e. 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 1.65%.

En la figura 28 y en la tabla 61 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 la tabla 62.

Finalmente, los índices de crecimiento medio anuales de los intervalos seleccionados se indican en la tabla 63.

Tabla 61. Emisiones de GEI derivadas de la agricultura en el estado de Sonora en 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

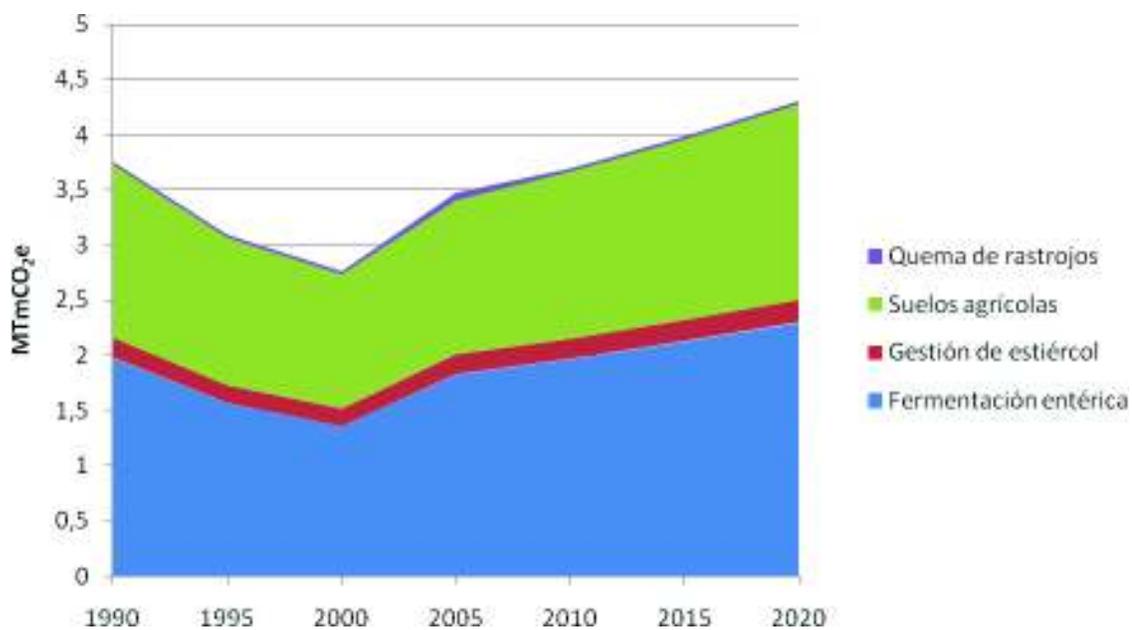


Figura 28. Emisiones de GEI derivadas de la agricultura en el estado de Sonora para el periodo 1990-2020.

Tabla 62. Distribución porcentual de las emisiones de GEI en el sector agrícola en el estado de Sonora.

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

Tabla 63. Índice de crecimiento porcentual medio anual de los GEI en el estado de Sonora 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

4.1.8. Silvicultura y cambio de uso de suelo.

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 la tabla 64. 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. MMtC = millones de toneladas métricas de carbono. Los números positivos indican las emisiones netas. El cambio en las reservas expresado en MMtC se convirtió en MTmCO₂e multiplicándolo por 44/12.

Tabla 64. Cambio anual en las reservas de carbono de la biomasa de zonas arboladas en el estado de Sonora en 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
$\Delta C_{\text{biomasa}}$	-8.21	-9.12	-6.29	-8.42

Los cálculos indican que las emisiones de GEI distintas al CO₂ derivadas de incendios forestales son insignificantes. En la tabla 65 se indican las emisiones en toneladas métricas por año de MTmCO₂e combinadas.

Tabla 65. Emisiones de metano y óxido nitroso derivadas de incendios forestales en el estado de Sonora.

GEI	1990	1995	2000	2005
CH4 (toneladas métricas)	7.34	6.74	13.51	8.87
N2O (toneladas métricas)	0.1	0.1	0.19	0.14
Total de tCO ₂ e	185	172	343	228
Total de MTmCO ₂ e	1.85E-04	1.72E-04	3.43E-04	2.28E-04

La tabla 66 muestra el flujo de carbono histórico y proyectado en el sector silvicultura y cambio de uso de suelo en el que el carbón secuestrado se mantiene prácticamente constante a través del tiempo, al igual que las quemas forestales, sin embargo estas últimas no son significativas.

Tabla 66. Flujo de carbono en silvicultura y uso de suelo y proyecciones de casos de referencia en el estado de Sonora en MTmCO₂e.

SUBSECTOR	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020
Paisaje forestal	-8.21	-9.12	-6.29	-8.42	-7.96	-7.96	-8.69
Quemas forestales	1.8E-04	1.7E-04	3.4E-04	2.3E-04	2.5E-04	2.5E-04	2.1E-04
TOTAL	-8.21	-9.12	-6.29	-8.42	-7.96	-7.96	-8.69

4.1.9. Totales.

De acuerdo a las estimaciones realizadas, señaladas en la tabla 67, podemos señalar que las actividades económicas en el estado de Sonora generaron en el año 2005, con base en el consumo bruto de emisiones, alrededor de 19.8 MTmCO₂e, 34% más que las registradas para 1990, aportando el 3.4% de las emisiones totales que se generan en México.

Sin embargo, en su territorio se capturaron en sumideros de carbono para ese año 8.42 MTmCO_{2e}, resultado su aportación neta en emisiones de GEI del orden de los 11.4 MTmCO_{2e}.

En el 2005, el sector que mayor aportación tuvo fue el sector eléctrico con 6.84 MTmCO_{2e} (34,5%), seguido por el sector transporte con 5.1 MTmCO_{2e} (25.8%), el agrícola con 3.47 MTmCO_{2e} (17.5%), procesos industriales con 1.76 MTmCO_{2e} (8.9%), manejo de residuos con 1.34 MTmCO_{2e} (6.8%), RCI con 1.06 MTmCO_{2e} (5.4%) y finalmente el sector industria de combustibles fósiles con 0.22 MTmCO_{2e} (1.1%), ver figura 29.

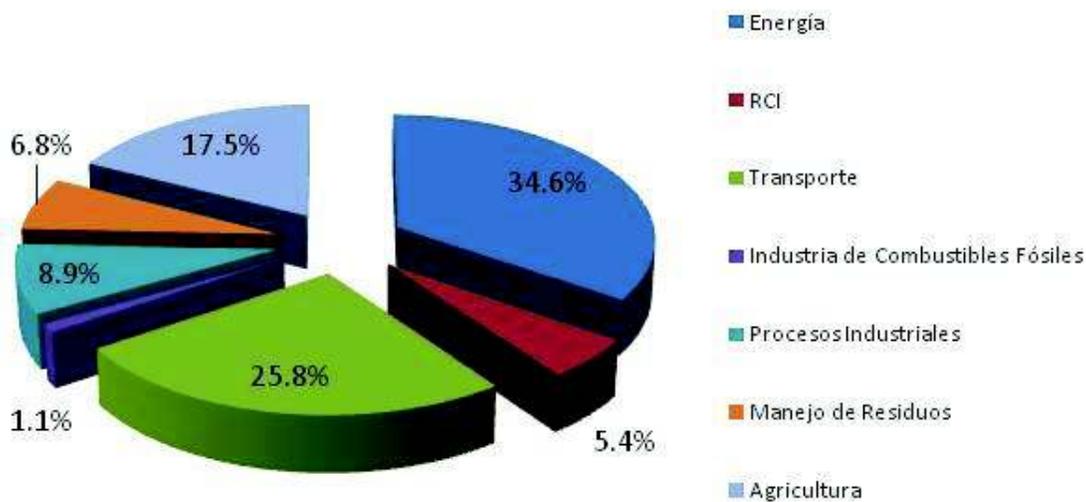


Figura 29. Distribución porcentual de las emisiones de GEI por sector del estado de Sonora para el 2005.

Tabla 67. Emisiones de GEI históricas y proyectadas del estado de Sonora.

SECTOR	AÑO (Millones de Toneladas Métricas de CO ₂ e)						
	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020
Energía (base consumo energético)	9.4	11.1	13.1	13.2	15.5	19.1	23.4
Energía(base consumo eléctrico)	4.03	5.50	7.03	6.84	7.58	9.76	12.2
Combustóleo	4.03	5.50	6.72	4.84	3.95	6.42	8.86
Gas Natural	0.00	0.00	0.30	2.00	3.63	3.34	3.32
Electricidad Neta Importada	1.2E-03	1.7E-03	2.3E-03	0.0	0.0	0.0	0.0
Basado en Producción Eléctrica	4.03	5.50	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	0.70	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	3.61	2.85	4.65	5.10	6.26	7.35	8.70
Gasolina de Carretera	1.65	1.75	1.96	2.44	3.17	3.73	4.39
Diesel de Carretera	0.93	0.05	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
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	0.00	0.00	0.00	0.02	0.02	0.02	0.02
Procesos Industriales	0.70	0.95	1.28	1.76	2.31	3.11	4.19
Manufactura de Cemento (CO ₂)	0.62	0.84	1.13	1.56	2.05	2.76	3.71
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)	0.01	0.02	0.02	0.03	0.04	0.06	0.08
Sustitutos de ODS (HFC, CFC)	0.03	0.04	0.05	0.07	0.09	0.12	0.16
Otros (CO ₂)	0.01	0.02	0.02	0.03	0.04	0.06	0.08
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	0.30	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	0.60	0.62	0.65	0.68
Agricultura	3.76	3.10	2.77	3.47	3.70	3.98	4.31
Fermentación Entérica	1.98	1.57	1.36	1.83	1.97	2.13	2.30
Manejo 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
Cultivo de Arroz	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
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	1.8E-04	1.7E-04	3.4E-04	2.3E-04	2.5E-04	2.5E-04	2.1E-04
Basado en Consumo Bruto de Emisiones	14.8	16.2	18.3	19.8	22.9	27.7	33.5
Aumento en relación a 1990		10%	24%	34%	55%	87%	127%
Sumidores	-8.21	-9.12	-6.29	-8.42	-7.96	-7.96	-8.69
Emisiones Netas	6.58	7.11	12.1	11.4	15.0	19.8	24.9
Aumento en relación a 1990		8%	83%	73%	128%	200%	278%

En el análisis de las emisiones históricas y proyectas de GEI para el Estado de Sonora, ver figura 30, para el periodo de 1990-2005 el incremento con base en el consumo bruto de emisiones fue de 5.0 MTmCO_{2e}, mientras que para el siguiente periodo e 15 años - 2005-2020 el incremento esperado es del orden de los 13.8 MTmCO_{2e}, los sectores inciden en esta incremento son el sector de energía, seguido por el de transporte y después por el de procesos industriales, el resto de los sectores no tiene una aportación significativa en el incremento antes mencionado.

Según las pronósticos realizados para el año 2020, las emisiones de GEI de consumo bruto se incrementarán en un 127% (33.5 MTmCO_{2e}) con relación a las emisiones de 1990, los sectores que más emisiones GEI aportaría sería el sector energía con 12.2 MTmCO_{2e} y el sector transporte con 8.7 MTmCO_{2e}. En suma el consumo de combustibles fósiles aportaría alrededor del 70% del total de las emisiones.

Mientras que las emisiones netas pronosticadas para el 2020, se incrementan en un 278% con relación a las emisiones generadas en el año 1990.

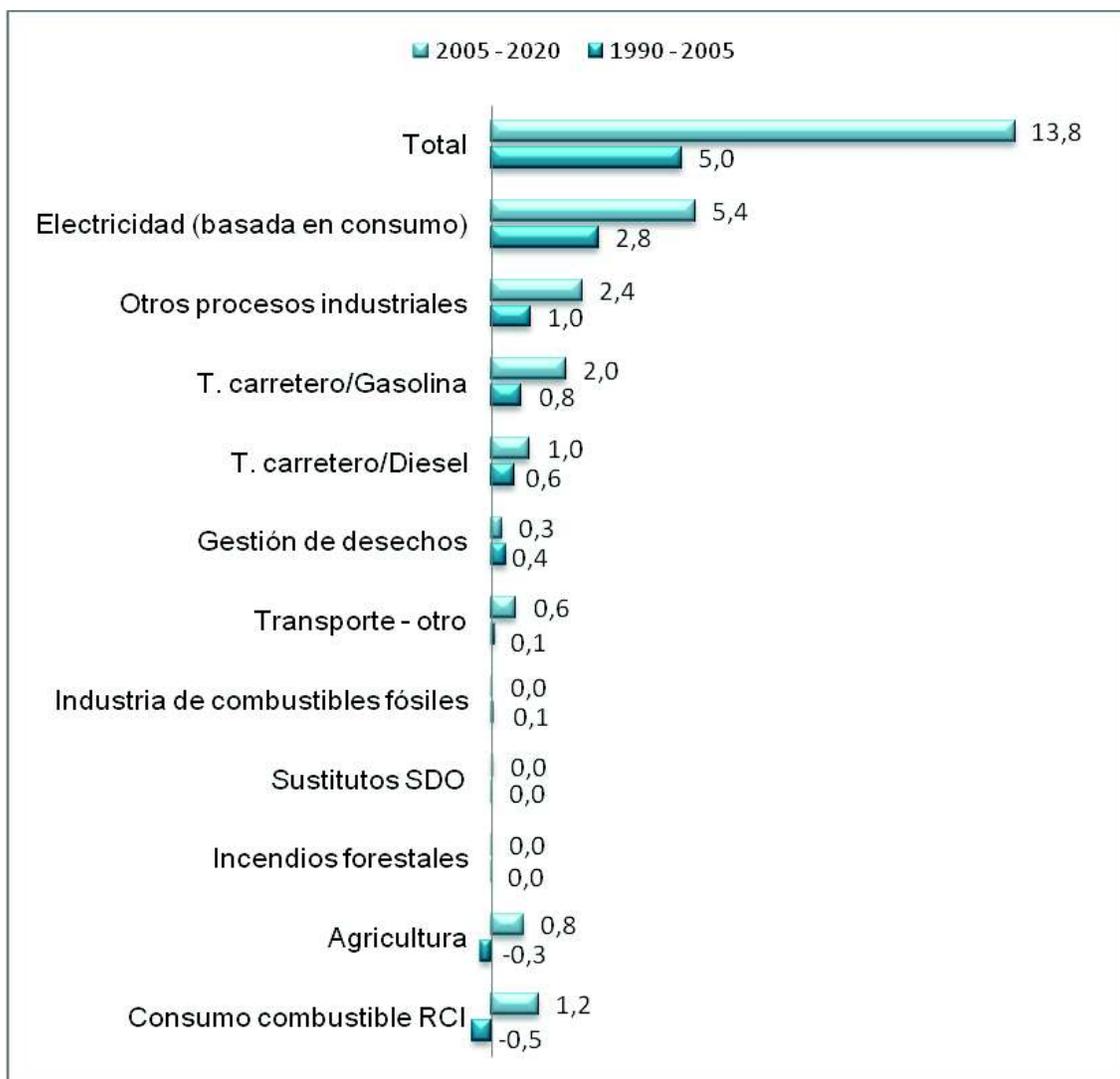


Figura 30. Contribuciones por sector al aumento en las emisiones brutas en Sonora para el periodo 1990-2020.

4.2. INCERTIDUMBRES POR SECTOR.

4.2.1. Energía.

Se usó un enfoque de Nivel I para calcular las emisiones de GEI del sector energía. Conforme a las Directrices de IPCC de 2006, 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 GEI 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 continua 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 CO₂e de las unidades de combustión de las plantas generadoras.

Se necesita contar con mejor información para incrementar la exactitud del pronóstico 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 el pronóstico.

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 pronosticadas. Asimismo, podría haber sucesos imprevistos que afecten los precios del combustible y, por lo tanto, el pronóstico sobre la generación de electricidad en Sonora.

4.2.2. Consumo de combustible residencial, comercial e industrial.

No siempre se pudo disponer de datos de actividad RCI segregados en el 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. 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 GLP también introdujo algo de incertidumbre. Aunque se contaba con información del inventario y el pronóstico 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 Sonora, se supuso que todo el consumo de gas natural correspondía a usuarios de tipo residencial, aunque sabemos que un porcentaje significativo de este combustible se utiliza en comercios de preparación de alimentos principalmente y para calentamiento de agua en establecimientos de servicios.

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%).

4.2.3. Transporte.

Según las Directrices del IPCC de 2006, la forma de datos que más conviene utilizar es el consumo de energía generada por combustibles. 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 GLP 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 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 nitroso 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.

4.2.4. Industria de combustibles fósiles.

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

4.2.5. Procesos industriales.

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. 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 sustancias agotadoras de la capa de ozono.

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 a la tabla 7.1, Capítulo 7, Volumen 3 de las Directrices del IPCC de 2006.

Asimismo, existe mucha incertidumbre en cuanto a las emisiones de los sustitutos de sustancias agotadoras de la capa de ozono de la refrigeración y los aires acondicionados en edificios. 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 GEI 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 IPCC. 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 a la tabla 7.1, Capítulo 7, Volumen 3 de las Directrices del IPCC de 2006.

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.

4.2.6. Manejo de residuos.

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 específicas en los rellenos. 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 desechos 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.

- Existe incertidumbres adicionales asociadas con las tasas de descomposición (vidas medias) y con las cantidades históricas de desechos 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 descargas para todos los sitios de relleno del estado no están disponibles. Alternamente, se usaron los datos de descarga publicados por SEMARNAT los cuales son estimados basados en estadísticas de población y una tasa de generación de desechos por cápita.

Para calcular las emisiones de tiraderos a cielo abierto se usaron los supuestos por defecto de la herramienta SIT sobre la composición de los desechos, optimizados para desechos municipales. Las cantidades de desechos quemados a cielo abierto en sitios residenciales se calcularon usando la metodología del Inventario Nacional de Emisiones (National Emission Inventory, NEI) de la EPA y con base en la población total de Sonora.

Dependiendo de las tasas reales de consumo de energía y la composición de los desechos, las cifras podrían estar sobrestimadas o subestimadas. Las emisiones derivadas de la quema a cielo abierto de desechos de jardín no se calcularon, pero se prevé que serían pocas (en el caso de los desechos 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 la tabla 27. 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.

4.2.7. Agricultura.

A fin de reducir la incertidumbre relacionada con las emisiones de GEI 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 alrededor del 10% 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 y las condiciones del suelo, 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 del pronóstico. 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.

4.2.8. Silvicultura y cambio de uso de suelo.

De acuerdo a las Directrices del IPCC de 2006, el sector de Silvicultura y cambio de uso de suelo incluye seis categorías de uso de suelo: 1) tierras forestales, 2) tierras de cultivo, 3) pastizales, 4) humedales, 5) asentamientos, 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 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.

Para proceder a ampliar este sector, sería necesario aplicar más recursos para correlacionar los datos de 1999 y 2003. Existe incertidumbre acerca de la información sobre el uso de suelo con que se contó.

Existe mucha incertidumbre en cuanto a la selección de los valores de crecimiento neto de la biomasa aérea. En el Tabla 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.

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 desmontes, incendios o plagas. 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 plagas.

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 1, el ejercicio de correlación genera un grado de incertidumbre que podría reducirse bastante si se contara con los resultados de estudios específicos sobre el estado o el país.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Al igual que otras regiones del mundo, en Sonora el problema de generación de emisiones de GEI lo representan las emisiones de CO₂, derivado del uso de combustibles en procesos de combustión.

La hipótesis anterior se fortalece, tomando en cuenta que más del 60% de las emisiones, son producto del aprovechamiento de combustibles fósiles (combustóleo, diesel y gasolina) para la generación de energía eléctrica y la propulsión de vehículos automotores.

En el caso particular, de las dos plantas generadoras de energía eléctrica en el estado con base en el uso de combustóleo, ubicadas en Puerto Libertad y Guaymas, estas generan alrededor del 26% del total de las emisiones de GEI, de todo el estado, el doble que las generadas por el parque vehicular a gasolina de toda la entidad. A pesar de que, Sonora presenta condiciones favorables para la generación de energía eléctrica con combustibles más limpios o el uso de energías alternativas, aunado a la ubicación estratégica del estado con relación a zonas altamente demandantes de energía eléctrica y a los cambios de políticas en Estados Unidos de América, con relación al cambio climático.

Si bien es cierto, en el estado se han realizado esfuerzos para establecer plantas de generación de energía eléctrica, con combustibles más limpios, al instalar plantas de generación que utilizan gas natural, los esfuerzos no son suficientes para atender la demanda futura y en consecuencia, aumentará el consumo de combustibles líquidos, produciendo una mayor cantidad de emisiones de GEI. Por lo anterior, no solo se debe trabajar en instalar plantas con combustibles más limpios, sino también, en disminuir la demanda de energía mediante programas que incentiven a las empresas y en los hogares sonorenses al uso eficiente de la energía.

Con relación a la generación de emisiones de GEI por parte del sector transporte, este en su conjunto aporta alrededor del 26%, como se señaló en las incertidumbres es necesario, precisar información, relativa a: definir factores de emisión de acuerdo a la flota vehicular del estado, características del parque vehicular, datos de actividad del sector, entre otra, sin embargo, este sector presenta un incremento sostenido en sus emisiones, por lo que, se hace necesario promover el uso racional de los vehículos, la adquisición de vehículos más eficientes o que utilicen biocombustibles u otros combustibles limpios, programas de descacharrización, así como otras medidas dirigidas a la población en general que permitan disminuir la demanda de combustible.

El sector agrícola es el tercero en importancia respecto a la aportación de emisiones de GEI, aporta alrededor del 13% del total de emisiones, las principales fuentes de generación son: la fermentación entérica y la generación de N_2O de suelos agrícolas, subsectores que representan el 95% de las emisiones totales de su sector.

Los procesos industriales aportan alrededor del 12% de las emisiones de GEI del estado, de las cuales alrededor del 88% son emitidas por la industria cementera, actividad productiva que ha venido cada día una mayor presencia en el estado, sobre todo con el inicio de la construcción de una nueva planta en el año 2009 y con ello, aumentará su participación y en consecuencia una mayor generación por parte de ese sector.

En todos los sectores estudiados, se presentan lagunas de información que dan lugar a incertidumbres, en algunos casos importantes y con ello, imprecisiones en el presente inventario tanto en las estimaciones históricas, como en las proyectadas.

Será tarea futura trabajar en las incertidumbres que permitan actualizar y llevar al presente inventario a un mayor nivel de detalle geográfico, que permita tomar en cuenta las diferencias existentes entre ecosistemas, la densidad de biomasa, prácticas agrícolas, etc. Así como, un mayor nivel de detalle de los subsectores para reflejar las diferencias

importantes en lo que respecta a la actividad económica, ecológica o de especies, uso de suelo, entre otras.

En el caso de los pronósticos, con base en datos más desagregados, cambios de políticas públicas, tendencia socioeconómica de la entidad realizar de manera periódica los ajustes correspondientes y proyecciones a más largo plazo, como pueden ser para los años 2050, 2080 y 2100.

Se propone la elaboración de un Plan Estatal contra el Cambio Climático, a nivel de programa de gobierno y no como un estudio académico, en el cual se evalúe el grado de vulnerabilidad de las diferentes regiones del estado y su susceptibilidad a, (incapacidad de tolerar), los efectos adversos del cambio climático, incluyendo la variabilidad climática y sus extremos; determine las medidas necesarias de adaptación, que le permitan al sistema natural o humano adecuarse en respuesta a los estímulos climáticos (reales o esperados) o a sus efectos, con el objeto de prevenir o minimizar los posible daños y de potenciar las oportunidades que se generen en función de los nuevos escenarios, y promueva acciones de mitigación, en áreas de oportunidad que le permitan al Estado apoyar en la disminución de la concentración de GEI global. En un marco de perspectiva de género y edad, reconociendo los distintos roles que llevan a cabo ambos sexos en el estado para llevar a cabo las estrategias que en el plan se definan, para los diferentes rangos de edad.

6. BIBLIOGRAFÍA.

- [1] Arriaga, Laura y Gómez Leticia, 2007. Posibles efectos del cambio climático en algunos componentes de la biodiversidad de México.
- [2] Arvizu Fernández, J.L., 2007, Registro histórico de los principales países emisores.
- [3] Bradley, R.S. 1999. Paleoclimatology, Reconstructing Climates of the Quaternary. Harcourt Academic Press.
- [4] Broecker, W. S. 1982. Glacial to interglacial changes in ocean chemistry. Progress in Oceanography 11(2).
- [5] Brown, D.E. y C.H. Lowe. 1980. Biotic Communities of the Southwest. General Technical Report RM-38, Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station, Forest Service, U.S. Departamente of Agriculture.
- [6] Depledge, J. 2002. Climate Change in Focus: The IPCC Third Assesment Report. The Royal Institute of International Affairs. Briefing Paper new series No. 29.
- [7] Díaz Montaña, J. A., 2006, Prospectiva del Sector Eléctrico 2005-2014. México: SENER.
- [8] EPAftp://ftp.epa.gov/EmisInventory/2002finalnei/documentation/nonpoint/2002 nei_final_nonpoint_documentation0206version.pdf.
- [9] Figueres, C. y M. Gowan. 2002. The operation of the CDM. Pp. 1-11. En: C. Figueres (ed.) Establishing National Authorities for the CDM. A guide for

developing countries. International Institute for Sustainable Development and the Center for Sustainable Development in the Americas, Canada. Disponible en: http://www.cckn.net/pdf/cdm_national_authorities.pdf.

- [10] Gallegos García, Artemio. 2007 Clima oceánico: los mares mexicanos ante el cambio climático global.
- [11] Gobierno del Estado de Sonora, 2006, Tercer Informe de Gobierno.
- [12] Gobierno del Estado de Sonora, Programa de Ordenamiento Ecológico Territorial.
- [13] <http://epa.gov/airmarkt/progsregs/epa-ipm/docs/Section-3.pdf>
- [14] <http://www.cfe.gob.mx/es/LaEmpresa/queescfe/Listadodecentralesgeneradoras/>
- [15] <http://www.ipcc.ch/pdf/glossary/ipcc-glossary.pdf>
- [16] <http://www.semarnat.gob.mx/gestionambiental/forestalysuelos/Pages/anuariosforestales.aspx>.
- [17] <http://www.semarnat.gob.mx/gestionambiental/forestalysuelos/Pages/anuariosforestal>
- [18] <http://www.sener.gob.mx/>.
- [19] <http://www.sener.gob.mx/webSener/index.jsp>.
- [20] <http://www.sonora.gob.mx/portal/Runscript.asp?p=ASP\pg168.asp>
- [21] <es.aspx>INEGI, 2006, Anuario Estadístico del Estado de Sonora.

- [22] INEGI, 2009, SIGE de Sonora.
- [23] IPCC. 2001. Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Technical Summary. Cambridge: WMO-UNEP. Cambridge University Press.
- [24] 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>.
- [25] IPCC, 2007: Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Equipo de redacción principal: Pachauri, R.K. y Reisinger, A. (directores de la publicación)]. IPCC, Ginebra, Suiza,
- [26] 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). 2005, Safeguarding the Ozone Layer and the Global Climate System: Issues related to hydrofluorocarbons and perfluorocarbons. Cambridge University Press: Cambridge, England.
- [27] Lozano García, Ma. Socoro, 2007, Evidencia de Cambio climático: cambios en el paisaje.
- [28] Marlan G., Boden T. y B.Andres. 2003. Global, Regional and National CO₂ Emissions. Carbon Dioxide Information Analysis Center (CDIAC). Oak Ridge National Laboratory, U. S. Department of Energy, Oak Ridge, Tenn. Disponible en: <http://cdiac.esd.ornl.gov/>

- [29] Magaña Rueda, Víctor O. 2007, El cambio climático global: comprender el problema.
- [30] Magaña, V., Méndez, J.M., Morales, R. y Millán C., 2007, Consecuencias presentes y futuras de la variabilidad y el cambio climático en México.
- [31] Parra-Salazar, I.E. y M.T. Sapién-Chávez. Flora de Sonora.
- [32] Rzedowski, J. 1988. Análisis de la distribución geográfica del complejo *Prosopis* (Leguminosae, Mimosoideae) en Norteamérica. *Acta Botánica Mexicana* 3: 7-19
- [33] SENER, 2007. Balance Nacional de Energía 2006.
- [34] Secretaría de Protección al Ambiente del Gobierno del Estado Baja California y Centro Mario Molina, 2007, Inventario de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero del Estado de Baja California 2005: Versión Final.
- [35] 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.
- [36] Vázquez Selem, Lorenzo. 2007, Investigaciones de los glaciares y del hielo de los polos.