



Instituto Politécnico Nacional
Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura Unidad Zacatenco
Sección de Estudios de Posgrado e Investigación



“Estrategia de Mitigación de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero. Estudio de Caso: Instituto Politécnico Nacional”.

Tesis que para obtener el grado de:

Maestra en Ingeniería Civil

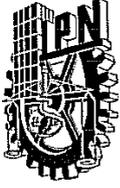
Presenta

Ariadna Itzel Reyes Sánchez

Dr. Víctor Manuel López López
Director de Tesis

M. en I. Felipe López Sánchez
Co- Director de Tesis

Diciembre, 2009



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

SIP-14

ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

En la Ciudad de México D.F. siendo las 18:00 horas del día 27 del mes de noviembre del 2009 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesis designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de E.S.I.A.-U.Z. para examinar la tesis de grado titulada:
"Estrategia de mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero. Estudio de caso: Instituto Politécnico Nacional".

Presentada por el alumno:

<u>Reyes</u> Apellido paterno	<u>Sánchez</u> Apellido materno	<u>Ariadna Itzel</u> Nombre(s)							
Con registro:									
<table border="1" style="display: inline-table; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 20px; text-align: center;">A</td> <td style="width: 20px; text-align: center;">0</td> <td style="width: 20px; text-align: center;">8</td> <td style="width: 20px; text-align: center;">0</td> <td style="width: 20px; text-align: center;">0</td> <td style="width: 20px; text-align: center;">3</td> <td style="width: 20px; text-align: center;">7</td> </tr> </table>			A	0	8	0	0	3	7
A	0	8	0	0	3	7			

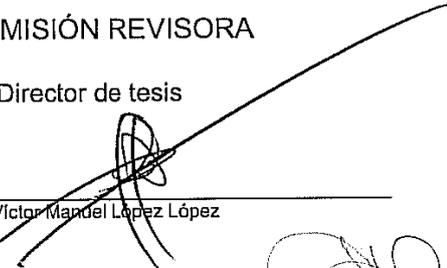
aspirante de:

MAESTRO EN INGENIERÍA CIVIL

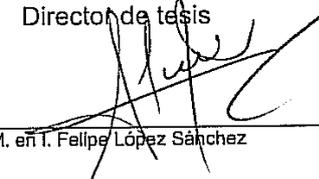
Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron **SU APROBACIÓN DE LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

LA COMISIÓN REVISORA

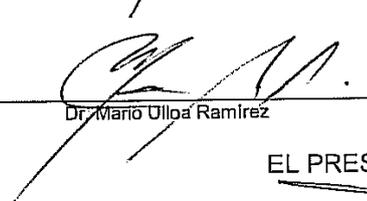
Director de tesis


 Dr. Víctor Manuel López López

Director de tesis

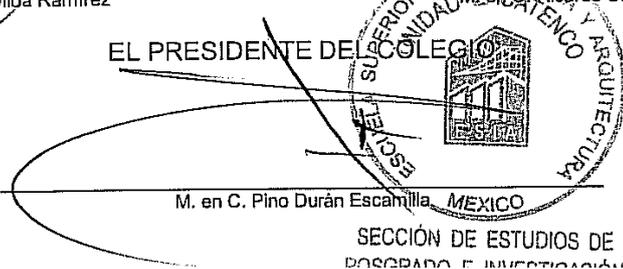

 M. en I. Felipe López Sánchez


 Dr. Javier Pérez Corona

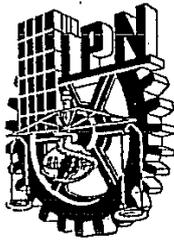

 Dr. Mario Ulloa Ramírez


 Dr. Ricardo Contreras Contreras

EL PRESIDENTE DEL COLEGIO


 M. en C. Pino Durán Escamilla, MEXICO


 SECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

CARTA CESION DE DERECHOS

En la Ciudad de México el día 30 del noviembre del año 2009, el (la) que suscribe Ariadna Itzel Reyes Sánchez alumno (a) del Programa de Maestría en Ingeniería Civil con número de registro A080037, adscrito a Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura Unidad Zacatenco, manifiesta que es autor (a) intelectual del presente trabajo de Tesis bajo la dirección de Dr. Víctor Manuel López López y M. en I. Felipe López Sánchez y cede los derechos del trabajo intitulado “Estrategia de Mitigación Emisiones de Gases Efecto Invernadero. Estudio de Caso: Instituto Politécnico Nacional”, al Instituto Politécnico Nacional para su difusión, con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección ariadna.irs@gmail.com Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

Ariadna Itzel Reyes Sánchez



Agradecimientos

Gracias a Dios por permitirme vivir, pensar, sentir, amar y porque hoy cumplo una importante meta que me llena de satisfacción y alegría.

Le agradezco infinitamente a mi madre su dedicación, entrega y amor para mí y para mis hermanos que han sido invaluable en mi existencia. También agradezco a mi padre su apoyo y cariño en todas las etapas de mi vida.

A Carlos y Arturo les quiero decir que todo lo que hago es siempre pensando en ellos, espero que siempre seamos unidos y que este sea uno de muchos logros en nuestra vida.

No puedo dejar de mencionar a mis maestros de la Academia de Ingeniería Ambiental, sobre todo al Dr. Víctor López por compartir conmigo su experiencia y conocimientos que han fortalecido mi vida profesional y personal. Le agradezco infinitamente al M. en I. Felipe López su apoyo incondicional, su dedicación, paciencia y sobre todo su amistad.

Gracias al M. en C. Ricardo Contreras, al M. en C. Javier Ávila y al Dr. Jorge Meléndez por ser mis profesores y por ser parte de la experiencia maravillosa de cursar la maestría en ingeniería civil en la ESIA Zacatenco.

Agradezco al Instituto Politécnico Nacional mi formación académico y personal, espero ser una egresada digna de nuestra casa de estudios y ejercer con decoro mi profesión.

Ariadna Itzel

A mis hermanos Carlos y Arturo

A mis padres



Índice

Contenido	Página
Índice	11
Relación de Tablas y Figuras	13
Acrónimos y símbolos	15
Resumen	17
Abstract	19
Introducción	21
Antecedentes	23
Justificación del problema	31
Hipótesis	33
Objetivos	33
I.- Marco teórico del Cambio Climático.	
Capítulo 1. El Cambio Global	35
1.1 El Sistema Terrestre	35
1.2 Cambios en el Sistema Climático	35
1.3 Cambio Global	36
Capítulo 2. Cambio Climático.	39
2.1 Concepto de clima	39
2.2 Evidencias del cambio climático	41
2.3 Causas del cambio	43
2.4 Escenarios futuros	45
Capítulo 3. Efecto Invernadero y los Gases de Efecto Invernadero	
3.1 Efecto Invernadero	49
3.2 Gases de Efecto Invernadero	50
Capítulo 4. Componentes estratégicas fundamentales del Cambio Climático	
Vulnerabilidad al Cambio climático	55
Mitigación de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero	58
4.3 Adaptación al Cambio Climático	60
4.4 Reflexión crítica a las componentes estratégicas del cambio climático	64
II.- Alcance Metodológico del trabajo de Tesis	
Capítulo 5. Metodología para la elaboración de inventarios nacionales del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC)	66
Volumen 1: Orientación general y generación de informes	66
5.2 Volumen 2: Energía	71
5.3 Volumen 3: Procesos industriales y uso de productos (IPPU)	77
Volumen 4: Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra	79
5.5 Volumen 5 Desechos	84

Contenido	Página
Capítulo 6. Contexto de los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero	85
6.1 Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (INEGEI) 1990-2002	85
6.2 Situación internacional de emisiones de GEI en México	90
6.3 Vulnerabilidad	94
6.4 Adaptación	95
6.5 Mitigación de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero	97
Capítulo 7. Protocolo de Gases de Efecto Invernadero (Greenhouse Gases Protocol Initiative). “Metodología para la elaboración de inventarios de emisiones de gases de efecto invernadero”	99
7.1 Determinación de los límites organizacionales	100
7.2 Límites Operacionales	101
7.3 Seguimiento de las Emisiones a través del tiempo	103
7.4 Identificación de las fuentes de emisión de GEI	105
7.5 Recolección de Información	106
7.6 Cálculo de las emisiones de GEI	109
7.7 Reporte de emisiones de GEI	113
Capítulo 8. Proyecto de mitigación de emisiones de GEI	115
8.1 Determinación de objetivos de reducción de emisiones	115
8.2 Elección del año base objetivo	116
8.3 Definición de la fecha de compromiso	117
8.4 Definición de la extensión del periodo del compromiso	118
8.5 Decisión sobre la compra – venta de emisiones	119
8.6 Seguimiento y reporte del progreso	119
III. Estudio de Caso: Unidad Profesional “Adolfo López Mateos” del Instituto Politécnico Nacional	
Capítulo 9. Inventario de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero de la Unidad Profesional “Adolfo López Mateos” del Instituto Politécnico Nacional	121
9.1 Determinación de los Límites Organizacionales	121
9.2 Determinación de los Límites Operacionales	126
9.3 Cálculo de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI)	127
9.4 Reporte de Emisiones de GEI	145
Capítulo 10. Estrategia de mitigación de emisiones en la Unidad Profesional “Adolfo López Mateos” del Instituto Politécnico Nacional.	149
10.1 Determinación de objetivos de reducción de emisiones	149
Resultados	160
Conclusiones	163
Sugerencias para trabajos futuros derivados del trabajo de tesis	164
Bibliografía	165
Glosario	167
ANEXOS	171

Relación de Tablas y Figuras

Figuras:

Figura 1. Joseph Fourier (1768-1830).	23
Figura 2. Svante Arrhenius (1859-1927).	24
Figura 3. Concentración de dióxido de carbono del Observatorio de Mauna Loa, Hawaii.	26
Figura 4. Concentración global mensual de CO ₂ (2005 – noviembre 2009)	27
Figura 1.1 El sistema climático del planeta tierra	36
Figura 2.1 Estructura de la atmósfera	39
Figura 2.2 Cambios en la temperatura, en el nivel del mar y en la cubierta de nieve del Hemisferio Norte.	42
Figura 2.3 Promedios globales de las concentraciones de Gases de Efecto Invernadero	44
Figura 2.4. Cambio experimentado por la temperatura a nivel mundial y continental	45
Figura 2.5 Escenarios futuros de temperatura de acuerdo con el tipo de escenario de emisiones.	46
Figura 3.1 El efecto invernadero.	50
Figura 3.2 Proporción de los gases de efecto invernadero en la atmósfera global.	51
Figura 5.1 Principales fuentes de emisión/absorciones de gases de efecto invernadero y procesos en ecosistemas gestionados.	84
Figura 6.1 Instituciones mexicanas encargadas de la elaboración del INEGEI del 2002.	88
Figura 6.2 Diagrama de emisiones de GEI para México.	90
Figura 6.3 Comparación internacional de emisiones de CO ₂ per cápita v.s. PIB per cápita, 2003.	94
Figura 7.1 Resumen de alcances y emisiones a través de la cadena de valor.	103
Figura 7.2 Ejemplo de un Ajuste o recálculo de las emisiones del año base debido a una adquisición.	105
Figura 8.1 Definición de la fecha compromiso.	118
Figura 8.2 Periodos de compromiso corto y largo	119
Figura 9.1 Estructura funcional del Instituto Politécnico Nacional	122
Figura 9.2 Vista en Planta de la Unidad Profesional "Adolfo López Mateos" del Instituto Politécnico Nacional	123
Figura 9.3 Vista en Planta de la zona de Edificios, Biblioteca Nacional de Ciencia y Tecnología (BNCT), etc	124
Figura 9.4 Vista en Planta de edificio de la ESIA Zacatenco, ESCOM, Secretaría Académica, Secretaría Técnica, Dirección General, Gimnasio, CFIE, entre otros.	125
Figura 9.5 Proporción de las emisiones de CO ₂ e de la Unidad Profesional "Adolfo López Mateos del I.P.N." en año 2008.	149
Figura 9.6 Gráfica de las emisiones totales de CO ₂ e del caso de estudio en el año 2008	149

Tablas:

Tabla 1. Principales características de los Gases de Efecto Invernadero	52
Tabla 2. Ejemplos de impactos asociados con el cambio anual medio mundial de la temperatura.	56
Tabla 3. Ejemplos de adaptación planificada, por sectores.	
Tabla 4. Identificación de Categorías principales en el Sector Energía	68
Tabla 5. Identificación de Categorías principales en el Sector de los procesos industriales y uso de productos	68
Tabla 6. Identificación de categorías principales en el sector desechos	69
Tabla 7. Identificación de categorías principales en el sector de agricultura, silvicultura otros usos de la tierra.	72
Tabla 8. Factores de Emisión de CO ₂ para la combustión de combustibles	74

Tabla 9. Principales tipos de combustible fósil que deben excluirse en el cálculo de las emisiones de GEI.	76
Tabla 10. Ejemplos de combustibles utilizados aplicaciones no relacionados con energía	79
Tabla 11. Emisiones de GEI de la categoría Energía (Gg).	88
Tabla 12. Emisiones de GEI de la Categoría de Energía por tipo de Gas en CO ₂ e.	88
Tabla 13. Países que representan el 95% de las emisiones de CO ₂ e generadas en la quema de combustibles	92
Tabla 14. Métodos Intersectoriales de Cálculo	109
Tabla 15. Métodos de cálculo sectoriales.	110
Tabla 16. Potencial de calentamiento global CO ₂ e	112
Tabla 18. Comparación de objetivos con respecto a años base fijos y móviles	117
Tabla 19. Alcance de Emisión por tipo de fuente en el Inventario de GEI del estudio de caso	128
Tabla 20. Herramientas de cálculo por tipo de alcance de emisión a utilizar en el Inventario de GEI	129
Tabla 21. Consumo de gas licuado propano en kilogramos en dependencias politécnicas	130
Tabla 22. Consumo de diesel en kilogramos en dependencias politécnicas	131
Tabla 23. Factores de emisión por tipo de combustible.	131
Tabla 24. Emisiones de dióxido de carbono en unidades equivalentes de CO ₂ por la quema de combustibles.	132
Tabla 25. Emisiones de metano (CH ₄) y óxido nitroso (N ₂ O) en unidades equivalentes de CO ₂ combustibles	132
Tabla 26. Emisiones directas de GEI por combustión móvil	133
Tabla 27. Consumo de electricidad en el año 2008 del caso de estudio	134
Tabla 28. Emisiones indirectas por consumo de electricidad adquirida	135
Tabla 29. Número y tipo de vehículos en los estacionamientos de la Unidad Profesional “Adolfo López Mateos”	136
Tabla 30. Kilómetros recorridos promedio diarios	137
Tabla 31. Eficiencia del combustible en millas por galón	137
Tabla 32. Factores de emisión por tipo de combustible utilizado	137
Tabla 33. Consumo total de combustible utilizado en el año 2008	139
Tabla 34. Emisiones totales en toneladas de CO ₂	139
Tabla 35. Clasificación de viajes aéreos según distancia recorrida y factores de emisión.	140
Tabla 36. Viajes Aéreos Nacionales realizados por docentes y funcionarios del IPN en el año 2008	141
Tabla 37. Viajes Aéreos Internacionales de funcionarios y docentes del IPN en el año 2008	142
Tabla 38. Distancia recorrida en vuelos nacionales por categoría de viaje	143
Tabla 39. Cálculo de emisiones indirectas de dióxido de carbono por viajes aéreos de negocios	144
Tabla 40. Potencial de calentamiento global CO ₂ e	145
Tabla 41. Emisiones indirectas de CO ₂ e objetivo por el consumo de electricidad adquirida para el año 2012	151
Tabla 42. Emisiones indirectas de CO ₂ e objetivo por los viajes aéreos nacionales e internacionales de docentes y funcionario para el año 2012	153
Tabla 43. Emisiones directas de CO ₂ e objetivo por el transporte de personas y materiales en vehículos propiedad del IPN para en el año 2012	154
Tabla 44. Emisiones indirectas de CO ₂ objetivo por los viajes de estudiantes, docentes y empleados del IPN de sus casas a las instalaciones de la Unidad Profesional “Adolfo López Mateos” para el año 2012	155

Acrónimos y símbolos

EPA:	Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de América (<i>Environmental Protection Agency</i>)		
GEI:	Gas de Efecto Invernadero		
INE:	Instituto Nacional de Ecología		
IPCC:	Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>).		
IPN:	Instituto Politécnico Nacional		
MDL:	Mecanismo de Desarrollo Limpio		
SEMARNAT:	Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales		
UNFCCC:	Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (<i>United Nations Framework Convention on Climate Change</i>)		
UPALM:	Unidad Profesional “Adolfo López Mateos” del Instituto Politécnico Nacional		
WBSCD:	Consejo Mundial Empresarial para el Desarrollo Sustentable (<i>World Business Council for Sustainable Development</i>)		
WMO:	Organización Meteorológica Mundial		
WRI:	Instituto de Recursos Mundiales (<i>World Resources Institute</i>)		
Gg	Giga gramos (1×10^9 gramos, mil toneladas)	kW-h	Kilowatt (1×10^3 Watts) por hora
GJ/Ton	Giga Joule por tonelada	kW-h/m ² -año	Kilowatt por hora por metro cuadrado por año
GW-h	Giga Watt por hora	l/s	Litro por segundo
MWh	Mega Watt por hora	m/s	Metro por segundo
ha	Hectárea	m ³ /s	Metro cúbico por segundo
ha/año	Hectáreas por año	m ³ /hab/año	Metro cúbico por habitante por año
kg/hab-día	Kilogramos por habitante por día	Mm ³	Millones de metros cúbicos
km	Kilómetro	Mt	Millones de toneladas
km/l	Kilómetro por litro	MW	Megawatt (1×10^6 Watt)
ktC	Kilo tonelada de Carbono	Ton de CO ₂ e	Tonelada de bióxido de carbono equivalente
CO ₂ e	Bióxido de carbono equivalente	CO	Monóxido de carbono
CH ₄	Metano		

CO ₂	Dióxido de carbono	N ₂ O	Óxido nitroso
COVDM	Compuestos Orgánicos Volátiles Distintos al Metano	PFC	Perfluorocarbonos
CFC	Clorofluorocarbonos	SF ₆	Hexafluoruro de azufre
HFC	Hidrofluorocarbonos	SO ₂	Bióxido de azufre

Resumen

El presente trabajo de tesis se muestra como una contribución a la Estrategia de Mitigación de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) establecida en la Tercera Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático mediante la obtención del Inventario de GEI del Instituto Politécnico Nacional.

En la primera parte de la tesis se desarrolla el marco teórico conceptual, en donde se describe el fenómeno del cambio global el cual se ha agravado por la intervención del hombre y ha provocado transformaciones significativas en el sistema climático dando lugar al calentamiento global. Se definen conceptos básicos relacionados con el tema y se abordan los tres componentes estratégicos del cambio climático: vulnerabilidad o el nivel en el que un medio es capaz o no de soportar los efectos adversos del calentamiento global, adaptación o el ajuste de los sistemas naturales y humanos como respuesta a las consecuencias climáticas y mitigación como la reducción de las emanaciones de GEI e incremento de sumideros de carbono.

La segunda parte de la tesis se enfoca a describir las diferentes metodologías para realizar inventarios de GEI. Por un lado se describen las Directrices del IPCC para la elaboración de inventarios nacionales de emisiones y por otro lado la Metodología del Protocolo GEI para la elaboración de inventarios en organizaciones o poblaciones que posteriormente es utilizada mediante la aplicación en el caso de estudio.

Como un aspecto fundamental de la tesis se obtiene el Inventario de Gases de Efecto Invernadero Institucional, que es una amplia auditoría sectorial del consumo de energía eléctrica y de la quema de combustibles fósiles en el transporte al año 2008. A partir de esta información, se realiza un proyecto de mitigación de emisiones de GEI, es decir, un conjunto de alternativas para la reducción significativa de las emisiones con respecto al consumo de energía eléctrica y transporte así como algunas recomendaciones relacionadas con el consumo del agua, la disposición de residuos, el aspecto forestal y el fortalecimiento de la investigación y el desarrollo tecnológico en el IPN.



Abstract

The following thesis is a contribution to the Strategy of Mitigation of Emissions of Greenhouse Gases (GHG) established in the Third National Communication to the United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) through the obtaining of the Inventory of Greenhouse Gases Emissions of the National Polytechnic Institute (IPN, in Spanish).

In the first part of the thesis the theoretical framework is developed, the phenomenon of global change that has become worse due to human intervention and has caused significant transformations in the climatic system giving place to the phenomenon of global warming is described. Basic concepts related to the phenomenon are defined as well as the mainest strategic components: vulnerability or the degree to which a system is susceptible to, or unable to cope with, adverse impacts of climate change; adaptation or the adjustment in natural or human systems in response to actual or expected climatic effects and mitigation or the reduction of the emissions of GHG and the enhancement of the sinks of GHG

In the second part of the thesis different methodologies to develop inventories of GHG are exposed. On the one hand the IPCC Guidelines for National Greenhouse Gases Inventories and on the other hand the Greenhouse Gas Protocol Initiative of the World Resources Institute for inventories in smaller scale is described to be used in the in the case of study.

As a fundamental part of the thesis the Institutional Inventory of Greenhouse Gases is obtained, which is an audit of the consumption of energy and the burning of fossil fuels in the activities of transport in the year of 2008. Based on this information, a project of mitigation of GHG emissions is developed, in other words, several measures for the reduction of emissions regarded to the consumption of energy and transport as well as some recommendations to improve the use of water, waste disposal, forestry preservation and the strengthening of research and the development of technology in the IPN.



Introducción

El clima que prevalece sobre la Tierra es debido al equilibrio de los gases que se forman naturalmente y retienen parte del calor solar cerca de la superficie de la Tierra. Este fenómeno natural denominado “efecto invernadero”, mantiene estable la temperatura de la tierra en un promedio aproximado de 14°C, lo suficientemente cálido para soportar la vida bajo la forma en la que se conoce. Sin este efecto invernadero, la temperatura llegaría a unos -19°C, convirtiendo al planeta en inhabitable.

El calentamiento global que está conduciendo al cambio climático no es un asunto local, como podría serlo algún problema ambiental de los muchos que existen, sino que se trata de un fenómeno atmosférico que afecta a todo el globo terrestre y a los seres vivos que lo habitan.

Los gases de efecto invernadero (GEI) oficializados en el Protocolo de Kyoto concertado en la Conferencia del Cambio Climático el año de 1997, son: dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), hidrofluorocarbonos (HFC), perfluorocarbonos (PFC) y hexafluoruro de azufre (SF₆). Estos GEI se acumulan constantemente en la atmósfera y se comportan como un cobertor que cubre el globo terrestre, el cual permite que la radiación solar penetre, pero impide que una parte del calor que refleja la tierra escape al espacio, quedándose entre la parte alta de de la atmósfera y la superficie de la tierra para incrementar lentamente la temperatura del planeta, originándose así el efecto invernadero exacerbado.

Las emisiones de dióxido de carbono (CO₂), gas invernadero más importante por su alta concentración en la atmósfera, se producen en cualquier lugar donde se queman combustibles fósiles, tales como: petróleo, gas natural, gasolina, diesel y carbón, para producir electricidad, calentar edificios o accionar vehículos. El metano (CH₄), segundo gas invernadero más importante, resulta de las actividades desempeñadas por el hombre como la agricultura, silvicultura así como los cambios de uso de suelo y es un subproducto de los desechos orgánicos y la descomposición de aguas residuales.

Los árboles y la vegetación absorben y utilizan el dióxido de carbono (CO₂) para crecer y al mismo tiempo funcionan como sumidero natural que secuestra el carbón de la atmósfera. Así mismo la propiedad que tiene la biosfera para absorber dióxido de carbono se reduce por deforestación, desertificación y contaminación, haciendo que la concentración de CO₂ en la atmósfera aumenta aún más.

El calentamiento global se ha manifestado con un incremento de temperatura de 0.74° C en un periodo comprendido entre los años 1906 y 2005 que ha sido el mayor aumento de temperatura de los últimos mil años que ha conducido al fenómeno del cambio climático (IPCC,2007).

Es inevitable que el clima siga cambiando pues la concentración de GEI en la atmósfera es muy alta y porque el tiempo de vida de estos gases es demasiado largo. Si las tendencias de emisiones continúan a ritmo actual, o a un ritmo mayor, en los próximos años el calentamiento global será más intenso.

Las medidas que se han propuesto para hacer frente a la problemática del cambio climático se conocen como mitigación de emisiones de GEI y de adaptación. Por un lado las medidas de mitigación pretenden reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), y por otro lado, las de adaptación implican tomar las medidas correctas para reducir los efectos negativos del cambio climático (o explotar los positivos) realizando ajustes y cambios adecuados. Es importante enfatizar que la mitigación de los gases de efecto invernadero es un tema plenamente sustentable, porque si se reducen las emisiones de los GEI, se contribuirá a que la intergeneración tenga una calidad de vida al menos similar a la que posee la intrageneración.

El presente trabajo de tesis desarrolla el primer reporte del inventario de emisiones de GEI de la Unidad Profesional “Adolfo López Mateos” del Instituto Politécnico Nacional del año 2008 que es un documento fundamental en las acciones de la institución para disminuir su huella ecológica relacionada al carbono y atender el fenómeno de cambio climático, pues para poder realizar una estrategia de mitigación de emisiones es necesaria la contabilidad de emisiones.

Además se establece una metodología para la elaboración de un inventario de emisiones y de un proyecto de mitigación de emisiones de GEI que puede ser reproducida en cualquier universidad, centro de investigación, organización, etc.

Esta tesis tiene el propósito de contribuir a los esfuerzos de mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero nacionales se reconoce que el cambio climático es indudablemente el desafío ambiental más importante y complejo que científicos, gobernantes y la sociedad han enfrentado en los últimos siglos.

Antecedentes

El primer científico que tuvo conocimiento del balance de energía de la tierra fue Joseph Fourier, (figura 1), matemático y físico francés, que realizó cálculos sobre propagación del calor en 1820.

Los trabajos de Fourier mostraron las diferencias en la temperatura entre un planeta sin atmósfera y otro que sí la tiene como la Tierra, pues la energía que llega a la tierra en forma de luz solar se balancea naturalmente con la energía que la tierra envía al espacio en forma de calor, y aunque no pudo concretar la explicación correcta del proceso, concluyó que parte de esa energía en retorno al espacio es interceptada continuamente por la atmósfera terrestre, provocando que la superficie terrestre tenga una temperatura adecuada para los seres que la habitan .



Figura 1. Joseph Fourier (1768-1830).

Fuente: López (2009).

Más tarde, en 1860, el científico irlandés John Tindalo estudió y fundamentó el poder físico de los gases que propician el efecto invernadero. Hasta ese momento los trabajos científicos relacionados con el efecto invernadero demostraban que el fenómeno existía y producía un aumento de temperatura induciendo un cambio en el clima. Sin embargo, la presencia de gases producidos en procesos llevados a cabo por humanos no había sido considerada hasta la segunda mitad del siglo XIX.

En 1896, el químico sueco Svante Arrhenius (figura 2) dio a conocer una primera estimación de cambio de temperatura atmosférica causada por emisiones industriales (Arrhenius, 1896). El principal aporte de este trabajo consiste en que la quema de combustibles fósiles (carbón, petróleo, gas) y la consiguiente liberación de dióxido de carbono podría propiciar el entrapamiento del calor de la tierra evitando su escape al espacio.



Figura 2. Svante Arrhenius (1859-1927).

Fuente: López (2009)

Arrhenius efectuó cálculos para estimar el enfriamiento de la tierra suponiendo que la presencia del dióxido de carbono se reducía a la mitad como consecuencia de ausencia de erupciones volcánicas e introduciendo también la consideración de que habría menos vapor de agua al no haber dichas erupciones. El resultado del trabajo científico de Arrhenius indicó que habría una caída de 5°C en la temperatura global. Después, al haber sido cuestionado acerca de lo que pasaría si se duplicara la concentración de dióxido de carbono, obtuvo un resultado muy similar pero en sentido contrario, es decir, la temperatura se incrementó 5°C.¹ Ese fue un gran resultado, pues es muy parecido al que se obtiene al simular en modelos de supercomputadoras la situación del clima en el año 2050 en el caso de que continúe la tendencia ascendente de la concentración atmosférica de dióxido de carbono; porque los incrementos de temperatura varían de -1.5°C a 4.5°C.

Las propuestas de Arrhenius y Calendarm son congruentes con el incremento de la concentración de dióxido de carbono obtenida por la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica “*National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)*” que pertenece al Laboratorio de Investigación de la Tierra “*Earth System Research Laboratory, (ESRL)*” de los Estados Unidos de América en el periodo 1958 - mayo de 2006 que se muestra en la figura 3, que ilustra el constante incremento de la acumulación de dióxido de carbono de 309 a 383ppm.

¹ López, V. (2008). “*CAMBIO CLIMÁTICO Y CALENTAMIENTO GLOBAL. Ciencia, evidencias, consecuencias y propuestas para enfrentarlos*”. Editorial Trillas. México, D.F., (pág. 42).

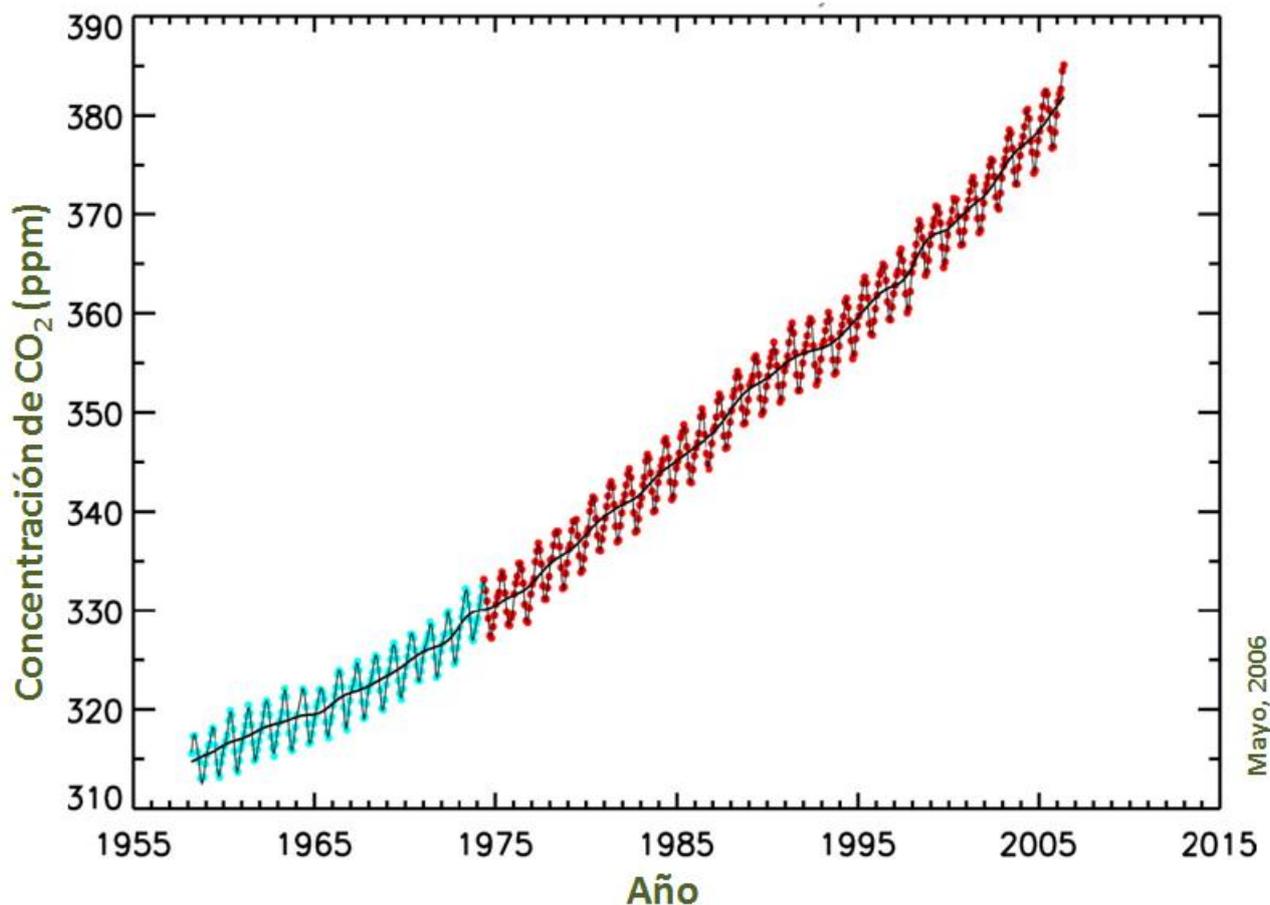


Figura 3. Concentración de dióxido de carbono del Observatorio de Mauna Loa, Hawaii.

Fuente: NOAA (2007) 2

A continuación se presenta la gráfica de concentración global de dióxido de carbono más reciente obtenida por NOAA de los años (2005-noviembre 2009). La figura 4 muestra la concentración de dióxido de carbono global del año 2005 al mes de octubre de 2009 obtenida por NOAA. La línea roja representa los valores mensuales centrandó la concentración de CO₂ más alta; la línea negra representa la misma información pero con valores medios mensuales. Como se observa en la gráfica del 2005 al 2009 la concentración de dióxido de carbono creció de 378ppm a 388ppm (10ppm) en un periodo de casi cuatro años.

² National Oceanic & Atmospheric Administration (2007)

http://celebrating200years.noaa.gov/datasets/mauna/image3_full.jpg

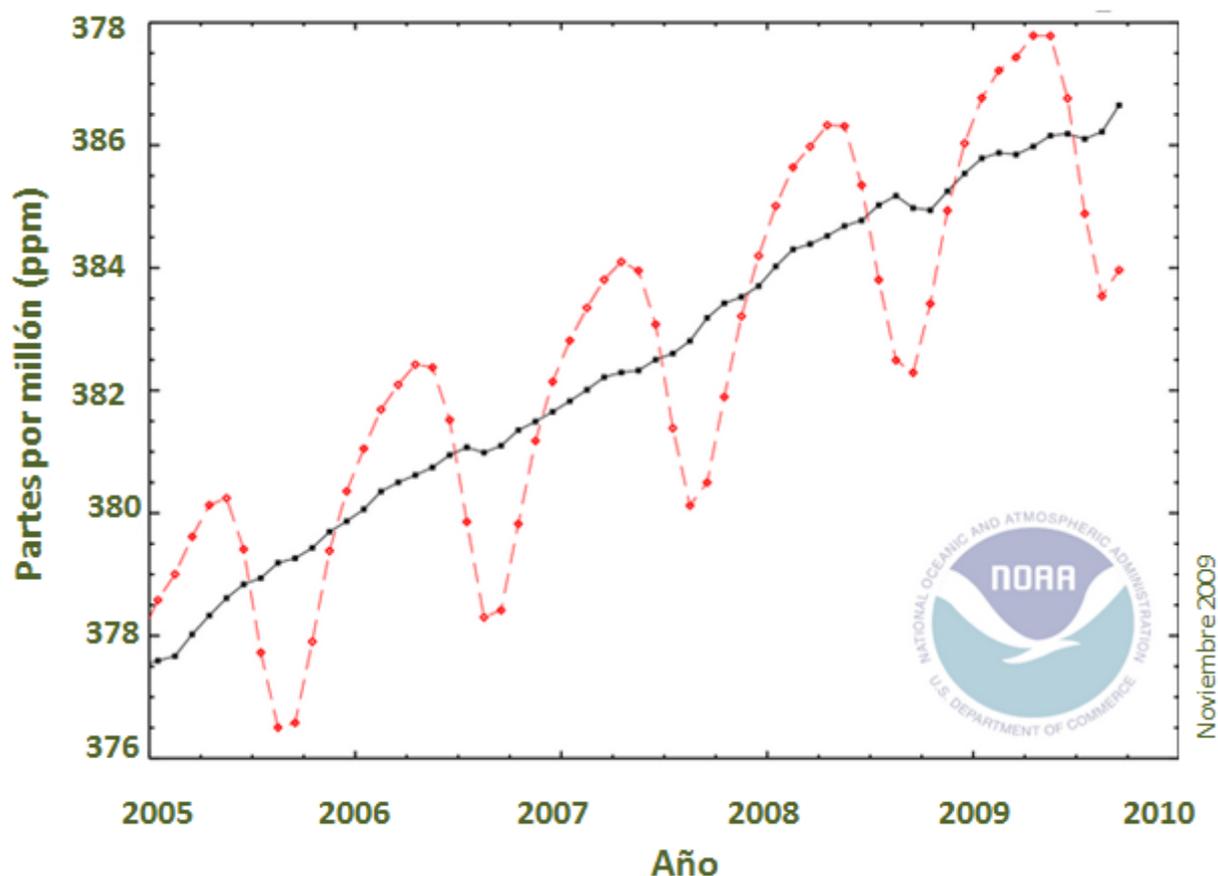


Figura 4. Concentración global mensual de CO₂ (2005 – noviembre 2009)

<http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/>

Las gráficas que se presentaron anteriormente, muestran que la concentración de dióxido de carbono, principal gas de efecto invernadero (GEI) están aumentando. Las medidas de mitigación de emisiones de GEI resultan necesarias para la estabilidad atmosférica y para que las poblaciones, ecosistemas y economías aseguren su sustentabilidad ambiental, económica y social.

Organizaciones y acuerdos internacionales sobre el fenómeno del Cambio Climático

Siendo el cambio climático un problema global, sus posibles soluciones también deben tratarse a escala mundial. En congruencia con este desafío, la Organización Meteorológica Mundial (WMO) y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) crearon el año de 1988 el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (*Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC*), la Convención Marco sobre el Cambio Climático, el Protocolo de Montreal y el Protocolo Kyoto así como otras organizaciones en todo el planeta.

* **Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC)**

El IPCC es un órgano científico-técnico intergubernamental que tiene la función de analizar de forma exhaustiva, objetiva, abierta y transparente, la información científica, técnica y socioeconómica relevante para entender los elementos científicos del riesgo que supone el cambio climático provocado por las actividades humanas, sus posibles repercusiones y las posibilidades de medidas de adaptación.

En 1990, el IPCC publicó su primer informe o reporte de evaluación estableciendo que la amenaza del cambio climático es real. El informe fue turnado a la Asamblea General de las Naciones Unidas, la cual inició negociaciones internacionales que condujeron a la adopción, en 1992, de la *Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC)*. Posteriormente el IPCC ha publicado tres informes más. El segundo, se publicó en 1995 y el tercer reporte de evaluación en 2001, confirmando ambos que el calentamiento global es ocasionado por el incremento en la atmósfera de gases de efecto invernadero de origen antropogénico.

El cuarto y más reciente reporte del IPCC se dio a conocer en el año 2007. Este último informe afirma que el calentamiento del sistema climático es inequívoco y establece contundentemente que hay una *“muy alta certidumbre de que el aporte global de las actividades humanas desde 1750, ha sido determinante para ese calentamiento”*.

Los resultados obtenidos por distintos simuladores del clima permiten visualizar el probable panorama de la tierra a finales del siglo XXI, ocasión en que el calentamiento mundial podría ser de 1.4 - 5.8° C lo que habrá de influir en los comportamientos meteorológicos, los recursos hídricos, los ecosistemas, el ciclo de las estaciones, y muchas cosas más.

* **Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC)**

En la segunda Conferencia Mundial sobre el Clima celebrada en Ginebra, Suiza en 1990, se pidió la creación de un tratado mundial para la organización de una convención sobre el cambio climático. A fines de ese año, se estableció el Comité Intergubernamental de Negociación para una Convención General sobre los Cambios Climáticos, el cual tuvo que afrontar negociaciones muy complejas debidas a la diversidad de posiciones en aspectos políticos, científicos, económicos y sociales de los países desarrollados y los países en vías de desarrollo.

Posteriormente, la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (*United Nations Framework Convention on Climate Change - UNFCCC*) fue adoptada en Nueva York el 9 de mayo de 1992 y entró en vigor el 21 de marzo de 1994. Permite, entre otras cosas, reforzar la conciencia pública, a escala mundial, de los problemas relacionados con el cambio climático. Después de la aprobación de la UNFCCC, en Río de Janeiro, durante la celebración de la Cumbre de la Tierra, se dio inicio a la recepción de firmas de 155 jefes de Estado y de Gobierno en el año de 1992; actualmente la han ratificado más de 190 países.

* **Protocolo de Kyoto**

El Protocolo de Kyoto es un acuerdo internacional fue concertado en la Conferencia de Cambio Climático en la Ciudad de Kyoto, Japón, el mes de diciembre de 1997; con la finalidad de enfrentar el reto del cambio climático mediante la reducción de emanaciones de gases de efecto invernadero (GEI) los cuales fueron oficializados en dicho acuerdo, es decir, dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), hidrofluorocarbonos (HFC), perfluorocarbonos (PFC) y hexafluoruro de azufre (SF₆);

Un antecedente importante de este convenio internacional, es la firma de la UNFCCC en la Cumbre de Río de Janeiro, Brasil, el año de 1992; porque los países se comprometieron a concretar acuerdos en la reducción de GEI causantes del calentamiento global y porque los gobiernos comenzaron a tener conciencia de la relevancia del fenómeno del cambio climático.

En su primera etapa, el Protocolo de Kyoto pretendía hacer obligatorios los compromisos en relación al calentamiento global, sin embargo, no se establecieron procedimientos para su aplicación, solo se establecieron normas y un proceso de firma y ratificación por parte de los países. Para que este acuerdo pudiera entrar en vigor se requería la ratificación de 55 Partes de la Convención Marco sobre el Cambio Climático, los cuales representarían el 55% de las emisiones de GEI globales. Por esta razón, el Protocolo fue vigente hasta febrero del 2005 cuando la Federación Rusa ratificó su participación.

Es importante señalar que solo los países incluidos en el Anexo 1 (países industrializados), deben de ejecutar un conjunto de medidas para reducir los gases de efecto invernadero, en un 5% de media las emisiones contaminantes entre 2008 y 2012, tomando como referencia los niveles de 1990. Además del compromiso de reducción de GEI deben de adoptar las siguientes medidas:

- Fomentar la eficiencia energética.
- Promocionar las energías renovables.
- Apoyar a la agricultura sustentable.
- Recuperar emisiones de metano mediante la gestión de desechos.
- Reformas apropiadas en los sectores pertinentes para reducir las emisiones de GEIs.
- Proteger y mejorar los sumideros de GEIs,
- Reducir las emisiones del sector de transporte.

México, al ser considerado como un país no industrializado (país no Anexo1), no está obligado a cumplir los compromisos que señala el Protocolo de Kyoto todavía. Sin embargo, las tendencias de incremento en el consumo y quema de combustibles fósiles así como la intensificación exacerbada del calentamiento global de los últimos decenios, indican que seguramente en un futuro próximo los países en vías de desarrollo tendrán que contraer las obligaciones del Protocolo.

* **El Informe Stern**

El Informe Stern (*Stern Review on the Economics of Climate Change*) es un reporte sobre el impacto del cambio climático y el calentamiento global sobre la economía mundial, redactado por el economista Sir Nicholas Stern por encargo del gobierno del Reino Unido, fue publicado el 30 de octubre del 2006 y es el primer informe encomendado por un gobierno a un economista en lugar de un climatólogo (Cairncross, 2006). Sus principales conclusiones afirman que se necesita una inversión equivalente al 1% del PIB mundial para mitigar los efectos del cambio climático y que de no hacerse dicha inversión el mundo se expondría a una recesión que podría alcanzar el 20% del PIB global.

El informe también sugiere la imposición de ecotasas para minimizar los desequilibrios socioeconómicos, afirmando que: Nuestras acciones en las décadas inmediatamente venideras pueden implicar el riesgo de una disrupción de la actividad económica y social durante el resto de este siglo y el siguiente, de una escala parecida a la de las grandes guerras y la Gran Depresión (Peston, 2006).

México ante el cambio climático

Durante la celebración de la Conferencia del Medio Ambiente y Desarrollo en Río de Janeiro, México fue uno de los 155 países iniciales que firmó el Tratado sobre Cambio Climático que dio inicio a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC), este compromiso se ratificó en el año de 1993 por el Senado de la República Mexicana.

México ha realizado en tres ocasiones el Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (INEGEI), para dar cumplimiento a las responsabilidades establecidas en el Protocolo de Kyoto; estos inventarios han sido elementos fundamentales de las tres comunicaciones nacionales que se han hecho a la UNFCCC (1997, 2001 y 2006).

Con el fin de contar con una organización nacional para afrontar el fenómeno de calentamiento global, el 25 de abril de 2005 se creó la Comisión Intersecretarial de Cambio Climático (CICC), este es un organismo federal de alto nivel en la materia que coordina las acciones de las dependencias y entidades de la administración pública para la formulación de políticas nacionales encaminadas a la mitigación de los GEI, la adaptación a los efectos del cambio climático y la promoción de programas y estrategias.

La CICC se integra por representantes de siete Secretarías: Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), quien preside la Comisión; Relaciones Exteriores (SRE); Desarrollo Social (SEDESOL); Energía (SENER); Economía (SE); Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA); Comunicaciones y Transportes (SCT); Hacienda y Crédito Público (SHCP). Todas estas Secretarías deben canalizar recursos humanos y materiales para el desarrollo de programas y estrategias de acción climática. El Instituto Nacional de Ecología (INE) es el organismo que tiene la responsabilidad de la coordinación del Programa de Cambio Climático. Este Instituto encabeza los trabajos para actualizar los Inventarios Nacionales de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (INEGEI) y además publicó en el año de 2006 el resultado de la Tercera Comunicación Nacional (México, 2006).



Justificación del problema

El calentamiento del sistema climático es un fenómeno inequívoco, científicos de todo el mundo están cada vez más seguros de que este fenómeno se debe al incremento de las emisiones humanas de gases de efecto invernadero (GEI) producidas desde la era industrial (IPCC, 2007). El aumento de la temperatura está causando el derretimiento generalizado del hielo y de la nieve y el aumento del nivel del mar; sus consecuencias pueden notarse en los cambios de clima global, ya sea en la forma de mayores precipitaciones y de tormentas más frecuentes en unas partes del mundo o de sequías más intensas y duraderas en otras.

Si las emisiones de GEI continúan al ritmo actual, o a un ritmo mayor, en los próximos años el cambio climático será más intenso. La influencia sobre el acceso del agua potable, la producción de alimentos y la salud variarán de unas partes a otras del mundo, pero es probable que sean destructivas y que, con el tiempo, vayan en aumento. Según el más reciente informe del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) publicado en 2007 y el Informe Stern, la economía mundial y la sociedad humana corren graves riesgos si no se adoptan medidas de mitigación de emisiones de GEI y de adaptación al cambio climático. Los gobiernos y los habitantes de todo el mundo se enfrentarán a situaciones muy complicadas derivadas de los impactos del fenómeno del cambio climático (Stern, 2007).

De acuerdo con el IPCC y otros organismos internacionales intergubernamentales, el cambio climático es el problema ambiental, económico y social más importante en el mundo. Es misión del Instituto Politécnico Nacional (IPN) ser una institución líder en la generación y transferencia del conocimiento científico y tecnológico comprometida con los problemas y desafíos del entorno y con la protección y preservación de los recursos naturales. En congruencia con esta misión de orientación sustentable, en este trabajo de tesis se expresa el resultado del Inventario de Gases de Efecto Invernadero (GEI) en el principal *campus* (*Zacatenco en México, D.F.*) que proporciona las bases para realizar un proyecto de mitigación o de reducción de emisiones de GEI.

En este trabajo de tesis, se proponen medidas y acciones de mitigación de emisiones de GEI para la Unidad Profesional “Adolfo López Mateos” en el campus Zacatenco, mediante su implementación se podrá transmitir a los alumnos, docentes y personal una cultura sobre el uso eficiente de los recursos naturales, y por lo tanto contribuir a un efecto multiplicador para que esta cultura no solo se quede en ellos, sino que la transmitan a la sociedad, y así contribuir a que México sea un país sustentable.



Hipótesis

El cambio climático es el problema ambiental, social y económico más relevante, se origina por las emisiones exacerbadas de gases de efecto invernadero (GEI). Las emisiones de GEI indirectas relacionadas con el consumo de energía y las actividades de transporte son las más importantes en cualquier institución

Objetivos

Objetivo General

Elaborar el Inventario de Gases de Efecto Invernadero (GEI) de la Unidad Profesional “Adolfo López Mateos” del Instituto Politécnico Nacional, para proponer una estrategia de mitigación de emisiones GEI que contribuya a los objetivos de reducción de emisiones de GEI nacionales.

Objetivos Específicos

- Establecer la conceptualización relacionada con calentamiento global que conduce al fenómeno de cambio climático.
- Proponer la metodología necesaria para la obtención de un Inventario de Gases de Efecto Invernadero que pueda ser reproducible en los centros educativos de la Asociación Nacional de Universidades e Instituciones de Educación Superior (ANUIES).
- Obtener el Inventario de Gases de Efecto Invernadero (GEI) del Instituto Politécnico Nacional que resulta del consumo de energía y de las actividades de transporte.
- Proponer medidas de mitigación de emisiones de GEI en la Unidad Profesional “Adolfo López Mateos” del Instituto Politécnico Nacional.
- Realizar una contribución alícuota a la IV Comunicación “Nacional” ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, a través de la inscripción del Inventario de Emisiones de GEI a la iniciativa de Reporte de Emisiones de la SEMARNAT y el Consejo Coordinador Empresarial CESPEDES.



I.- Marco teórico del Cambio Climático.

Capítulo 1. El Cambio Global

El propósito fundamental del primer bloque de esta tesis es el desarrollar un marco teórico referente al fenómeno de Cambio Climático, sin embargo, éste es considerado solo una de las consecuencias que provoca un fenómeno aún más complejo denominado “cambio global”, el cual se aborda en el primer capítulo.

1.1 El Sistema Terrestre

El concepto de evolución del sistema terrestre como un organismo integrado es un concepto antiguo. Sin embargo, hasta hace poco tiempo el estudio de la Tierra se basaba en disciplinas como la Geología y la Oceanografía ambas orientadas al estudio único del sistema terrestre.

Por otra parte, los instrumentos de medición y de observación han sido, hasta hace poco tiempo bastante limitados. De hecho, la comprensión y entendimiento de las conexiones globales entre los diferentes componentes de la Tierra empezaron a ser conocidas en el siglo pasado, lo que es posible gracias a la existencia de una serie de instrumentos nuevos como las técnicas de observación global y el desarrollo de modelos conceptuales y numéricos que integran de forma sistemática los diferentes conceptos y procesos del sistema terrestre (*National Aeronautics and Space Administration*, 1986).³

Los componentes del sistema terrestre son cuatro: la Tierra sólida, el agua, el aire y los seres vivos. Los tres primeros se engloban en el término geosfera, que incluye los componentes no vivos del sistema terrestre. La biosfera, que es el sistema de la vida y de apoyo a la vida integrada en el envoltorio periférico del Sistema de la Tierra. (Friedman, 1985).⁴

1.2 Cambios en el Sistema Climático

Los sistemas naturales físicos son: el agua, aire y la tierra sólida, estos se hallan sometidos a importantes procesos de cambio y transformación de la Tierra, pero han sufrido una aceleración y, en algunos casos, un cambio de dirección en los últimos doscientos años debido a la intervención humana. El sistema climático, es altamente complejo y está integrado por cinco grandes componentes: la atmósfera, la hidrósfera, la criósfera, la superficie terrestre y la biósfera, y las interacciones entre ellos.

Este sistema evoluciona con el tiempo, desde hace miles de millones de años, como resultado de las interacciones entre la radiación solar y los diferentes componentes de la geosfera y la biosfera, es decir, por la influencia de su propia dinámica interna y debido a forzamientos externos como las erupciones volcánicas, las variaciones solares y los forzamientos inducidos por el ser humano, los cambios en la composición de la atmósfera y los cambios en el uso de la tierra.

³ National Aeronautics and Space Administration (1986). “*Earth System Science Overview*”. Washington, D.C., (página 15).

⁴ Friedman, H. (1985). “*The Science of Global Change: An Overview*”. Cambridge University Press. Cambridge, Inglaterra, (página 20).

Sin embargo, en la actualidad la emisión de los denominados **gases de efecto invernadero**, como resultado de las actividades humanas, está variando la dirección del cambio climático natural a una velocidad digna de consideración.

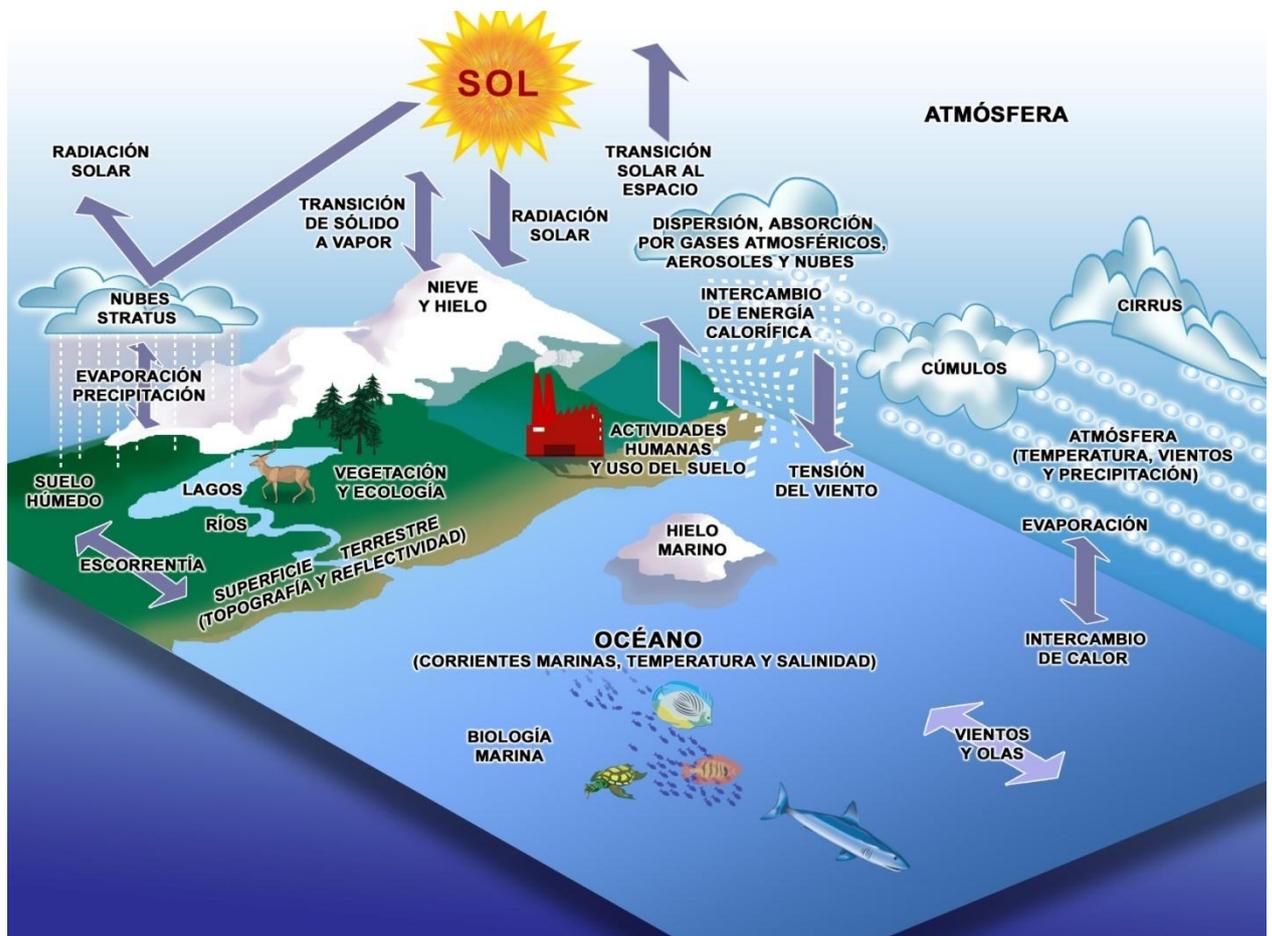


Figura 1.1 El sistema climático del planeta tierra

Fuente: López (2009)

1.3 Cambio Global

Entendemos por cambio global en el medio ambiente: *aquellas alteraciones en los sistemas naturales, físicos y biológicos cuyos impactos no son y no pueden ser localizados, sino que afectan al conjunto de la Tierra.* (Stern, 1992). Existen dos modalidades de cambio global. Puede tratarse de pequeñas, pero drásticas, alteraciones en sistemas que operan en el conjunto de la Tierra. Por ejemplo, la mezcla de gases de la estratosfera o los cambios en los niveles de dióxido de carbono y otros gases que provocan el efecto invernadero de un extremo a otro de la atmósfera.

La segunda modalidad se basa en aumentos o incrementos en la dimensión de cambios locales en los sistemas naturales. Por ejemplo, la pérdida de biodiversidad a través de la destrucción del hábitat o los cambios operados en las fronteras de los ecosistemas como resultado de la deforestación, la desertización, la aridización del suelo y los cambios de los modelos de asentamiento humano.

En el primer caso, hablamos de que el cambio global es un cambio sistémico por naturaleza, ya que el cambio iniciado por acciones que se producen en cualquier parte de la Tierra puede afectar directamente a hechos que se producen en cualquier otro punto del planeta. En el segundo caso, hablamos de que el cambio global es un cambio acumulativo por naturaleza, y lo consideramos “global” porque sus efectos se dejan sentir en toda la Tierra, aunque las causas puedan ser localizadas (Turner, 1989).

El cambio global implica procesos físicos, químicos y biológicos interactivos que regulan el sistema terrestre, el medio ambiente único que permite la vida, los cambios que se van produciendo en este sistema y el modo en que las acciones del ser humano influyen en él. (Menon, 1989).⁵

1.3.1 El papel de la humanidad

Como fue mencionado anteriormente, el cambio global es un proceso muy antiguo. La Tierra está sometida a un proceso de cambio continuo desde su configuración como planeta dentro del sistema solar que empezó mucho antes de la aparición de la vida en la Tierra y que ha continuado después de forma ininterrumpida.

El cambio global en el medio ambiente tiene su origen en causas naturales y en causas humanas. Un ejemplo de causa natural es el cambio de la órbita que traza la Tierra alrededor del Sol. Un ejemplo de causa humana es la deforestación masiva para obtener nuevas tierras de cultivo o pastos.

La Tierra ha estado sometida a un proceso de cambio ininterrumpido desde su configuración como planeta dentro del sistema solar; un proceso de cambio que se inició mucho antes de la aparición de la vida en la Tierra. Así mismo, el hombre ha modificado el sistema terrestre desde su aparición sobre la Tierra, hace ahora más de dos millones de años. Pero durante la mayor parte de este período (al menos hasta hace tres siglos), la influencia humana en el medio ambiente se había mantenido a escala local y en pequeña magnitud. Sólo en la última mitad del siglo pasado han tenido los seres humanos la capacidad de modificar el medio ambiente a escala global. Se ha afirmado que el ser humano es el primer agente de cambio, en lo que respecta a la corteza terrestre, como mínimo en términos de materiales transportados y transformados cada año.

Este trabajo de tesis se concentra en las causas de esta intervención humana en el proceso de cambio global, porque sólo conociendo a fondo estas causas, analizando sus orígenes y cuantificando sus efectos, se podrá lograr después un avance serio en la formulación de propuestas de respuesta; unas propuestas que son por otra parte muy complejas.

⁵ Menon G. (1989). “Open Address en Global Change”. Informe 71. Washington, D.C., (página. 20).



Capítulo 2. Cambio Climático.

El fenómeno de efecto invernadero natural ha sido exacerbado por efecto de la actividad humana, incrementando significativamente y en un periodo de tiempo muy corto, la concentración global de gases de efecto invernadero, dióxido de carbono principalmente, conduciendo a un incremento de la temperatura media global de 1.74°C dando lugar al fenómeno de calentamiento global; sin embargo, este calentamiento no es uniforme y se presenta con distintas evidencias sobre impactos en la tierra.

De manera que el fenómeno conocido como calentamiento produce importantes variaciones en el estado medio del clima y da lugar al fenómeno conocido actualmente como: “cambio climático”. De acuerdo con el IPCC, el cambio climático se puede deber a procesos naturales internos o a cambios del forzamiento externo, o bien a cambios persistentes antropogénicos en la composición de la atmósfera o en el uso de las tierras.

La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMCC) quien es la autoridad mundial para los asuntos del cambio climático, lo define como: ‘un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos

2.1 Concepto de clima

Es importante entender el significado de clima para así tener una mejor comprensión del fenómeno de cambio climático. La Convención Marco sobre el Cambio Climático de las Naciones Unidas (UNFCC), define el cambio climático como la “variación del clima, atribuido directa o indirectamente a actividades humanas, el cual altera la composición de la atmósfera global y representa un añadido a la variabilidad climática natural observada a través de períodos comparables entre sí” (UNFCC, 2007).

Los fenómenos asociados con la atmósfera se pueden dividir, en condiciones meteorológicas (estado del tiempo) y clima. Las condiciones meteorológicas son determinadas por fluctuaciones horarias o diarias de la atmósfera como por ejemplo precipitaciones, tormentas, ciclones.

Estos cambios ocurren mientras los sistemas meteorológicos se desarrollan, mueven y disipan, caracterizándose por un comportamiento no lineal y caótico, lo cual no los hace predecibles más allá de una o dos semanas. En resumen, el estado del tiempo es la manifestación diaria del clima. La Organización Meteorológica Mundial, define al clima como una descripción estadística en términos de valores medios y de variabilidad de magnitudes (superficie, temperatura, precipitaciones y viento), durante un periodo que va desde un mes hasta miles de años (WMO, 2007), en esta tesis se considera un periodo típico de 30 años.

2.1.1 Estructura atmosférica

El clima actúa en la atmósfera, los océanos, la criósfera (hielo y nieve permanentes) y los continentes, en las partes superficiales de la tierra y del mar, y en la parte baja de la atmósfera, es decir, la troposfera.

La altura de la troposfera es de aproximadamente 11.5 km., existen zonas donde el espesor alcanza entre 15 y 17 km, en regiones próximas al Ecuador y otras regiones de los polos solo alcanzan entre 6 y 8 km. En esta capa la temperatura disminuye con la altura (6.5° C por cada kilómetro que se asciende), hasta llegar a la región divisoria denominada tropopausa y en seguida está la estratosfera que contiene la capa de ozono protectora de la vida, al impedir con su espesor que se filtren en demasía los rayos ultravioleta que dañan la piel. A diferencia de la troposfera, a medida que se asciende en esta franja, mayor es la temperatura y algo que le es característico son los fuertes vientos que circulan en ella. El resto de las capas hacia arriba no interesan mucho en el estudio del cambio climático, porque en ellas no existe clima.

La mayor parte del clima tiene como escenario la troposfera que contiene el 80% de todos los gases de la atmósfera. La otra parte del clima ocurre en la componente hídrica a través de la modalidad de precipitación (lluvia, nieve, granizo), nubosidad, humedad.

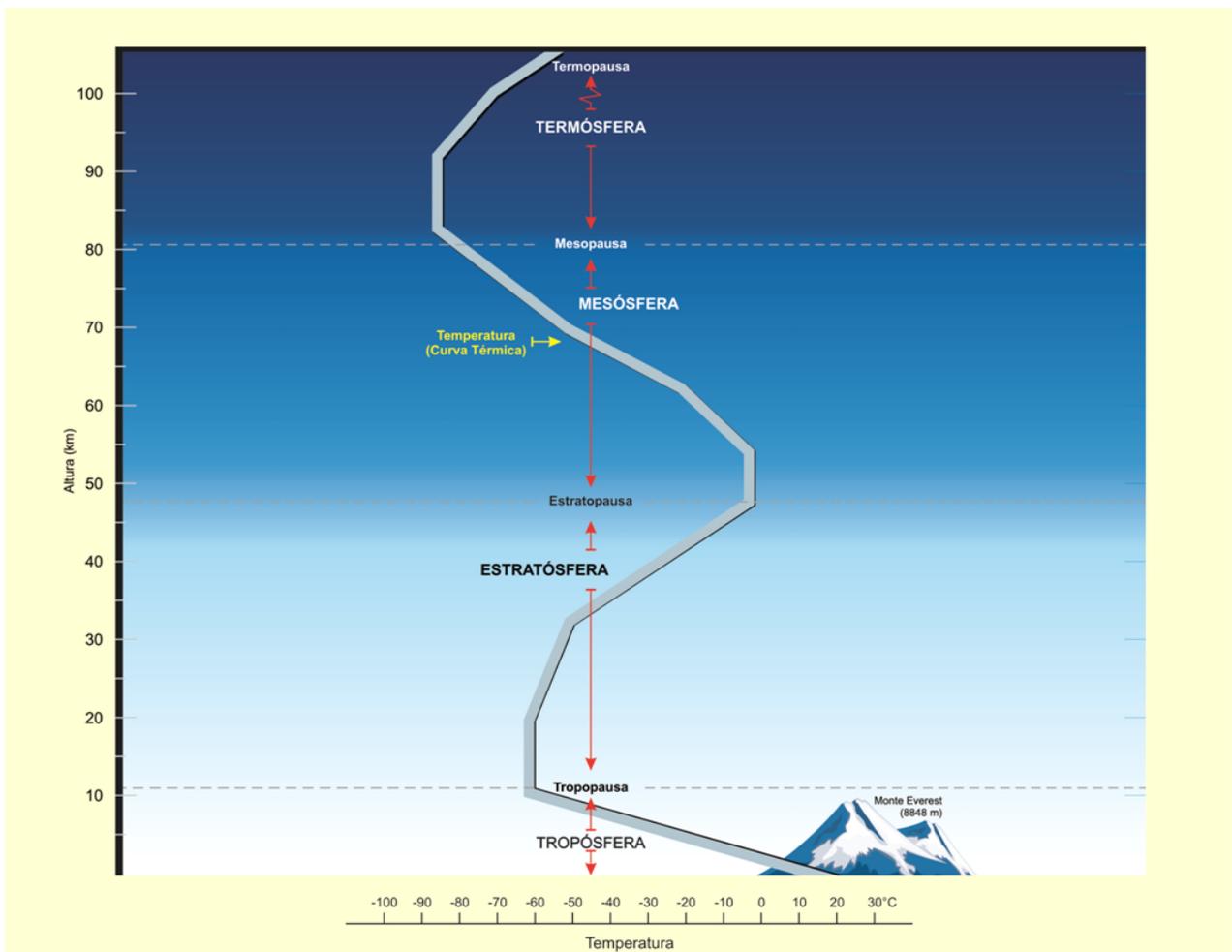


Figura 2.1 Estructura de la atmósfera

Fuente: López (2009)

La superficie terrestre de los continentes, es determinante en la creación del clima a través del llamado albedo, que es la característica de blancura reflejante o de oscuridad antirreflejante de la radiación solar que incide sobre la superficie terrestre, calentándola conjuntamente con el aire. La humedad que contiene la tierra contribuye al valor del albedo, siendo bajo para superficies oscuras y alto para las claras. El suelo mojado es más oscuro que el seco y si hay vegetación en él, cambia el color y por tanto el albedo.

La profundidad promedio de altamar es menor a 4km, las capas más superficiales del océano funcionan como reguladoras del clima y son movilizadas constantemente por las olas y las corrientes, lo que hace que la temperatura sea uniforme hasta aproximadamente 100m. A partir de esta profundidad la temperatura disminuye con cierta uniformidad hacia abajo. Esa porción marina profunda responde muy lentamente a los cambios de temperatura que ocurren en la superficie, a veces con tardanza de siglos o de miles de años.

En tanto que la capa superficial, que es sensible a las variaciones térmicas, es determinante para regular las épocas de verano e invierno, moderando las temperaturas y haciéndolas más benignas. Océanos y corrientes participan en el llamado ciclo hidrológico que involucra una interrelación térmica y dinámica.

La *criósfera* de los polos es blanca y brillante y por tanto su albedo es alto, razón por la que absorbe muy poca radiación incidente en esta porción continental que alcanza muy poco calentamiento. Por otra parte, el frío produce nieve y hielo, haciéndose más grande la criósfera, con el consecuente crecimiento del albedo superficial. Esta expansión de la criósfera disminuye la temperatura, propiciando un enfriamiento adicional. La conclusión obvia es que el frío da lugar a más frío.

En sentido contrario, si ocurre un incremento de temperatura, la criósfera empieza a fundirse, el albedo disminuye absorbiendo la tierra más radiación y la superficie recibirá un calentamiento adicional. Se puede concluir que el calor propicia más calor, que es lo que parece estar ocurriendo al constatarse un calentamiento casi generalizado en el planeta. Este fenómeno se llama *retroalimentación*, que puede ser *positivo o negativo*, dependiendo si induce mayor o menor temperatura. (López, 2008).

2.2 Evidencias del cambio climático.

De acuerdo con el IV Reporte del IPCC sobre cambio climático, el calentamiento del sistema climático es inequívoco, pues se han detectado incrementos en el promedio mundial de la temperatura del aire y del océano, el deshielo generalizado de nieves y hielos, y el aumento del promedio mundial del nivel del mar, ver figura 2.2.

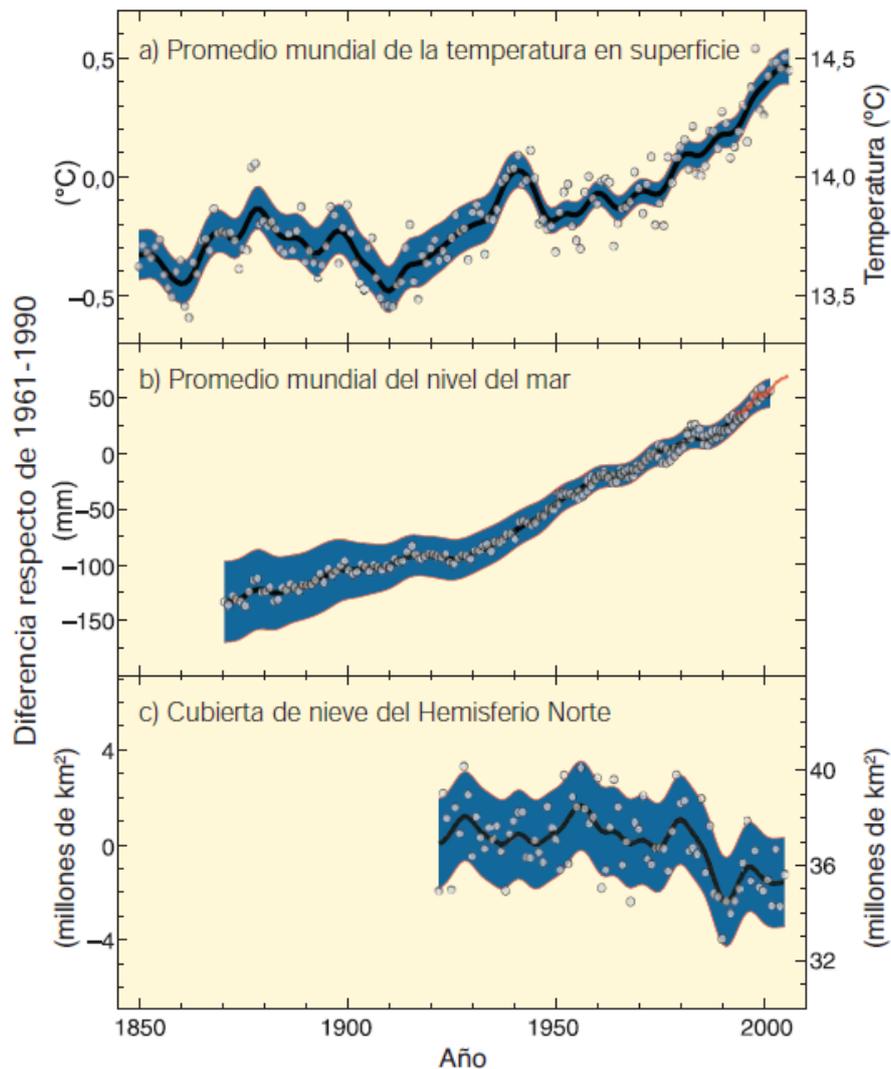


Figura 2.2 Cambios en la temperatura, en el nivel del mar y en la cubierta de nieve del Hemisferio Norte.

Fuente: IPCC (2007)

El IPPC menciona que de los años 1906 a 200 se ha incrementado la temperatura global 0.74°C , 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. En promedio, el nivel de los océanos mundiales ha aumentado desde 1961 a un promedio de $1,8 \text{ mm/año}$, y desde 1993 a $3,1 \text{ mm/año}$, en parte por efecto de la dilatación térmica y del deshielo de los glaciares, de los casquetes de hielo y de los mantos de hielo polares.

La disminución observada de las extensiones de nieve y de hielo concuerda también con el calentamiento. Datos satelitales obtenidos desde 1978 indican que el promedio anual de la extensión de los hielos marinos árticos ha disminuido en un $2,7\%$ por decenio. En promedio, los glaciares de montaña y la cubierta de nieve

han disminuido en ambos hemisferios. Entre 1900 y 2005, la precipitación aumentó notablemente en las partes orientales del norte de América del Sur y del Norte, Europa, y Asia central

En todo el mundo, la superficie afectada por las sequías ha aumentado probablemente desde el decenio de 1970. Es muy probable que en los últimos 50 años los días fríos, las noches frías y las escarchas hayan sido menos frecuentes en la mayoría de las áreas terrestres, y que los días y noches cálidos hayan sido más frecuentes. Es probable que las olas de calor hayan sido más frecuentes en la mayoría de las áreas terrestres, que la frecuencia de las precipitaciones intensas haya aumentado en la mayoría de las áreas, y que desde 1975 la incidencia de valores altos extremos del nivel del mar haya aumentado en todo el mundo.

Las observaciones evidencian un aumento de la actividad ciclónica tropical intensa en el Atlántico Norte desde aproximadamente 1970, con escasa evidencia de aumentos en otras regiones. No se aprecia una tendencia clara del número anual de ciclones tropicales. Es difícil identificar tendencias a más largo plazo de la actividad ciclónica, particularmente antes de 1970. En promedio, las temperaturas del Hemisferio Norte durante la segunda mitad del siglo XX fueron muy probablemente superiores a las de cualquier otro período de 50 años de los últimos 500 años, y probablemente las más altas a lo largo de, como mínimo, los últimos 1300 años.

2.3 Causas del cambio

La variación de las concentraciones de gases de efecto invernadero (GEI) y aerosoles en la atmósfera, y las variaciones de la cubierta terrestre y de la radiación solar, alteran el equilibrio energético del sistema climático. Las emisiones mundiales de GEI por efecto de actividades humanas han aumentado, desde la era preindustrial, en un 70% entre 1970 y 2004, ver figura 2.3.

El dióxido de carbono (CO₂) es el GEI antropogénico más importante. Sus emisiones anuales aumentaron en torno a un 80% entre 1970 y 2004. Las concentraciones atmosféricas mundiales de CO₂, metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O) han aumentado notablemente por efecto de las actividades humanas desde 1750, y son actualmente muy superiores a los valores preindustriales, determinados a partir de núcleos de hielo que abarcan muchos milenios.

Las concentraciones atmosféricas de CO₂ (379 ppm) y CH₄ (1774 ppmm) en 2005 exceden con mucho el intervalo natural de valores de los últimos 650.000 años. Los aumentos de la concentración mundial de CO₂ se deben principalmente a la utilización de combustibles de origen fósil y, en una parte apreciable pero menor, a los cambios de uso de la tierra. Es muy probable que el aumento observado de la concentración de CH₄ se deba predominantemente a la agricultura y a la utilización de combustibles de origen fósil. El aumento de metano ha sido menos rápido desde comienzos de los años 90, en concordancia con las emisiones totales (como suma de fuentes antropogénicas y naturales), que han sido casi constantes durante ese período. El

aumento de la concentración de N_2O procede principalmente de la agricultura. Con un grado de confianza muy alto, el efecto neto de las actividades humanas desde 1750 ha sido un aumento de la temperatura. Ver figura 2.3.

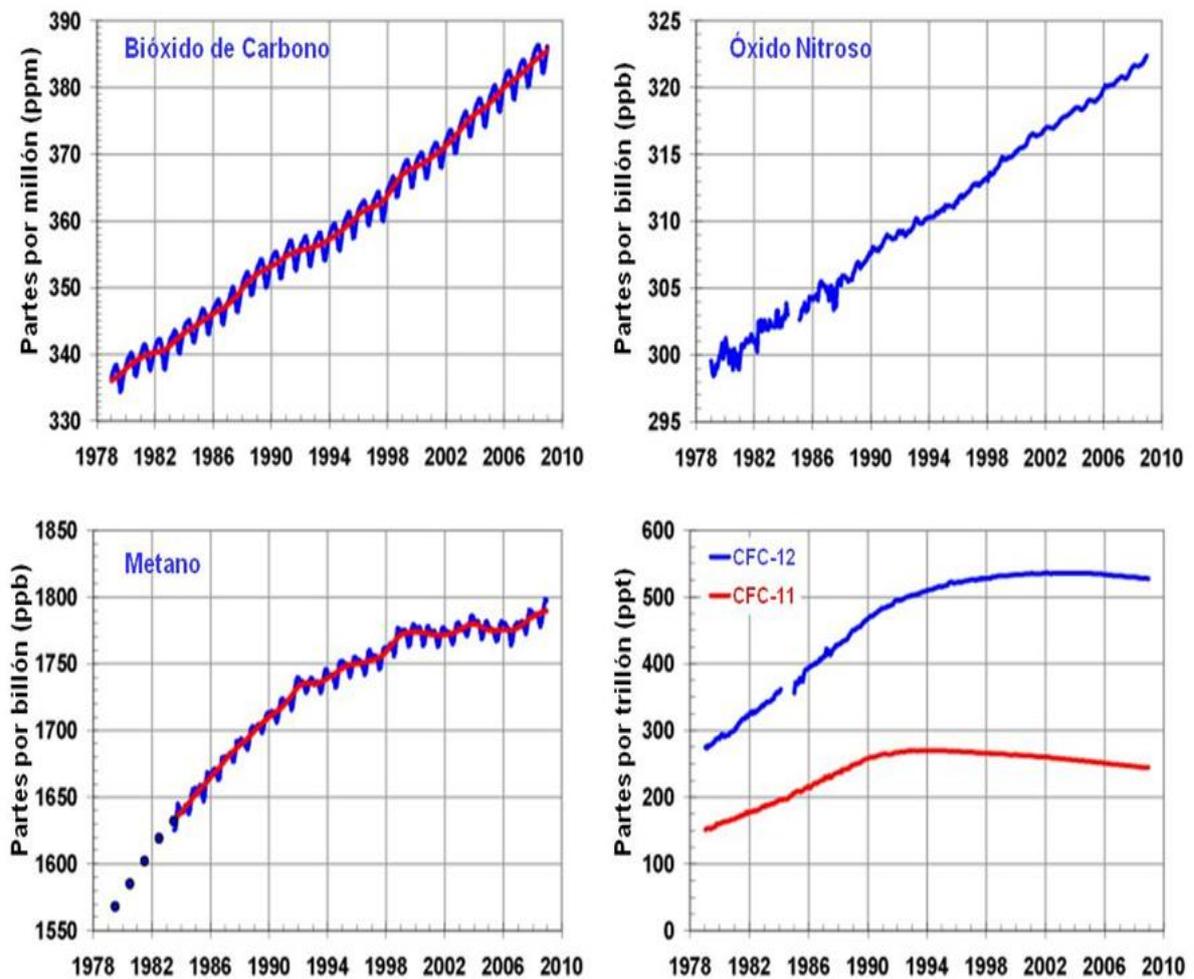


Figura 2.3 Promedios globales de las concentraciones de Gases de Efecto Invernadero

Fuente: National Oceanic & Atmospheric Administration (NOAA, 2007)

La mayor parte del aumento observado del promedio mundial de temperatura desde mediados del siglo XX se debe muy probablemente al aumento observado de las concentraciones de GEI antropógenos.⁷ Es probable que se haya experimentado un calentamiento antropogénico apreciable en los últimos cincuenta años, en promedio para cada continente, como se observa en la figura 2.4.

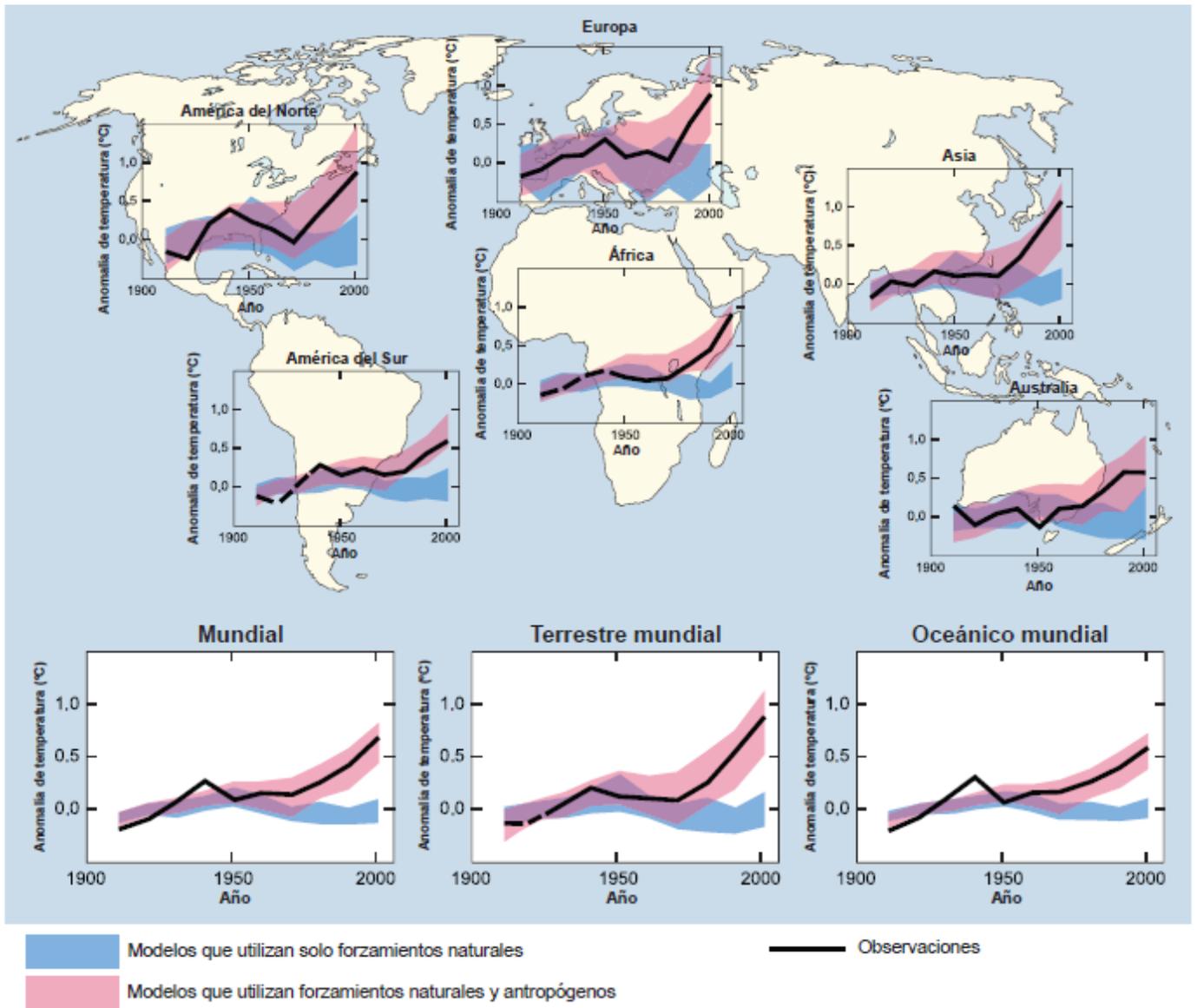


Figura 2.4. Cambio experimentado por la temperatura a nivel mundial y continental

Fuente: IPCC (2007)

2.4 Escenarios futuros

Las estimaciones más recientes indican que dependiendo del tipo de desarrollo que adopte el mundo, los incrementos de la temperatura global promedio del planeta se pueden dar en el rango de 1.78 y 4°C con respecto al promedio de 1980-1999, aunque no se descartan aumentos de hasta 6.4°C, como se muestra en la figura 2.5.

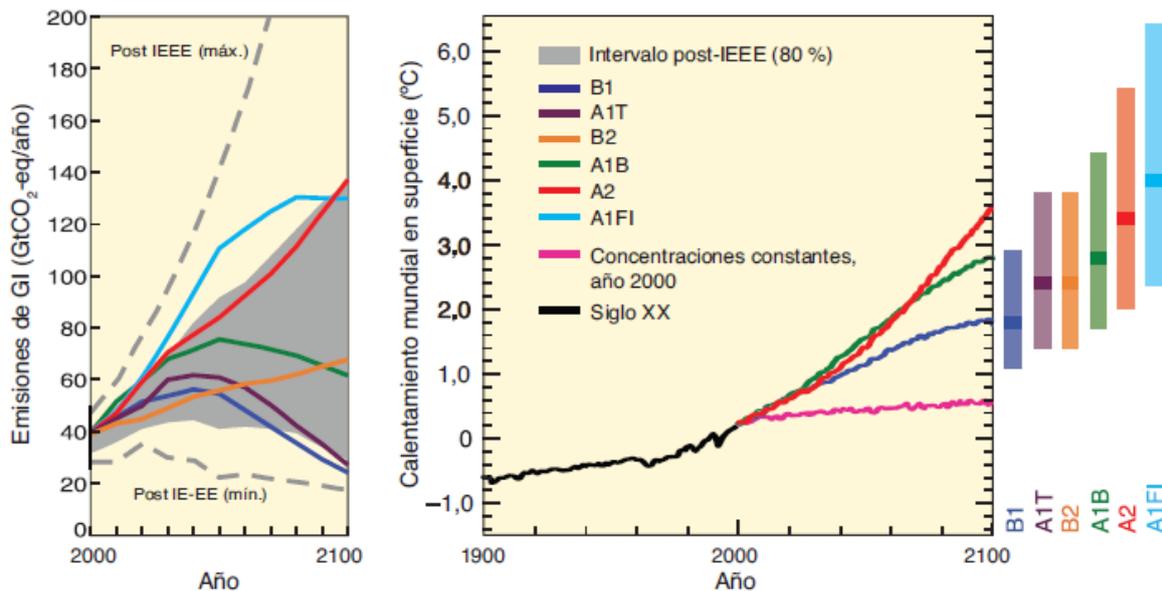


Figura 2.5 Escenarios futuros de temperatura de acuerdo con el tipo de escenario de emisiones.

Fuente: IPCC (2007)

En los próximos 20 años se proyecta un aumento promedio global de 0.4°C en la superficie terrestre, independientemente del escenario de emisiones que se estudie. Aún si las concentraciones de GEI se mantuvieran constantes a los niveles de 2000 para el 2100 el planeta se calentaría entre 0.3 y 0.9°C debido a la lenta respuesta de los océanos.

Los escenarios del 2100 indican que el nivel global del mar podría aumentar entre 0.18 y 0.59 metros. Es muy probable que los extremos en la temperatura y precipitación sigan volviéndose más frecuentes y es probable que los ciclones tropicales se vuelvan cada vez más intensos, ver escenarios en Anexo A.

Es altamente probable que la precipitación aumente en las altas latitudes del planeta y que decrezca en la mayoría de las zonas subtropicales. En América Latina, como a nivel global, algunos sectores y sistemas son especialmente vulnerables:

- Es muy probable que los recursos hídricos se vean disminuidos (entre el 10% y 30%) en regiones de latitudes medias en el trópico húmedo y que en el transcurso del siglo se reduzca el agua almacenada en los glaciares y nieve.
- Los ecosistemas experimentarán pérdida de especies (entre un 20% al 30% de las especies estudiadas en riesgo de extinción), así como reducciones en la biodiversidad y cambios en el rango).
- Si se presenta un aumento global menor a 3°C, es probable que la productividad agrícola se incremente en latitudes bajas.

-
- Las costas están amenazadas por un aumento en el nivel del mar que conduciría a una pérdida del suelo costero y un incremento en el riesgo de inundación para millones de personas para finales de siglo.

Algunos países han hecho esfuerzos para adaptarse, particularmente a través de la conservación de sistemas de alerta temprana, el desarrollo de estrategias para enfrentar sequías e inundaciones, mejorando el manejo de sus zonas costeras y el apoyo a sus sistemas de salud. Sin embargo, la efectividad de esfuerzo se ha visto sobrepasada por la falta de información básica y de sistemas de observación y monitoreo, por las condiciones de pobreza y por los asentamientos humanos en zonas muy vulnerables, así como las faltas de estrategia públicas, institucionales y tecnologías apropiadas.

Los cambios observados y los escenarios futuros son la motivación fundamental para que México se estén impulsando nuevos estudios de cambio climático, sus posibles impactos, y el desarrollo de estrategia de mitigación de emisiones y de adaptación al cambio climático.⁶

⁶ UNAM (2008) Guía para la elaboración de escenarios de cambio climático a escala regional, primera versión.



Capítulo 3. Efecto Invernadero y los Gases de Efecto Invernadero

3.1 Efecto Invernadero

El efecto invernadero es parte inmanente del sistema climático del planeta tierra al ser la consecuencia de que exista la atmósfera donde precisamente se manifiesta el clima. Este fenómeno es indispensable para la existencia de la vida. El efecto invernadero natural está siendo incrementado por actividades que realiza la especie humana, al punto de amenazar el equilibrio climático debido a la emisión en aumento de gases que se acumulan en los alto de la atmósfera para hacer posible el efecto invernadero. Esta es la causa más directa del calentamiento global en curso, según lo ha reiterado el Panel intergubernamental sobre el cambio climático (IPCC).

Todo cuerpo emite una radiación para dispersar su energía, pero esta radiación tendrá una longitud de onda diferente según su temperatura. El sol, en razón del calor extremo en su superficie (6000 °C), irradia un largo espectro de ondas. El cristal es transparente a esta radiación solar que lo atraviesa, por el contrario, la energía absorbida por cualquier cuerpo frío es emitida bajo la forma de rayos infrarrojos. La atmósfera de la tierra se comporta como un cristal que es opaco a esta radiación infrarroja que trata de reflejarse de su encierro y al no lograrlo provoca un ciclo repetitivo que aumenta la temperatura en el interior.

El efecto invernadero natural ha jugado un papel determinante en la aparición de la vida sobre la tierra, pues si no existiera, la temperatura media global sería de aproximadamente -18°C, sin embargo, es de +15 °C. Este fenómeno natural es un hecho físico considerado indiscutible por su veracidad, la temperatura del espacio interestelar en la vecindad de la tierra es en forma aproximada de -250°C, de manera que este fenómeno ayuda a regular la temperatura del planeta tierra.

La atmósfera se compone por nitrógeno, oxígeno y argón en 99.9% de la masa gaseosa, siendo el restante 0.1% un grupo minoritario de gases entre los que se encuentran los llamados gases de efecto invernadero (GEI) o gases termoactivos. Este grupo minoritario de gases es el responsable del efecto invernadero.⁷

Para explicar el fenómeno de efecto invernadero, se considera que el sol emite permanentemente energía hacia la tierra, como se ilustra en la figura 3.1 Esta radiación de onda corta penetra a la atmósfera terrestre a través del aire de las alturas, que en ausencia de nubes es muy transparente, excepto a la radiación de onda muy corta llamada ultravioleta, y es opaco a la radiación de onda larga o infrarroja (BARROS, 2004).

⁷ López, V. (2008). " CAMBIO CLIMÁTICO Y CALENTAMIENTO GLOBAL. Ciencia, evidencias, consecuencias y propuestas para enfrentarlos". Editorial Trillas. México, D.F., (pág. 66).

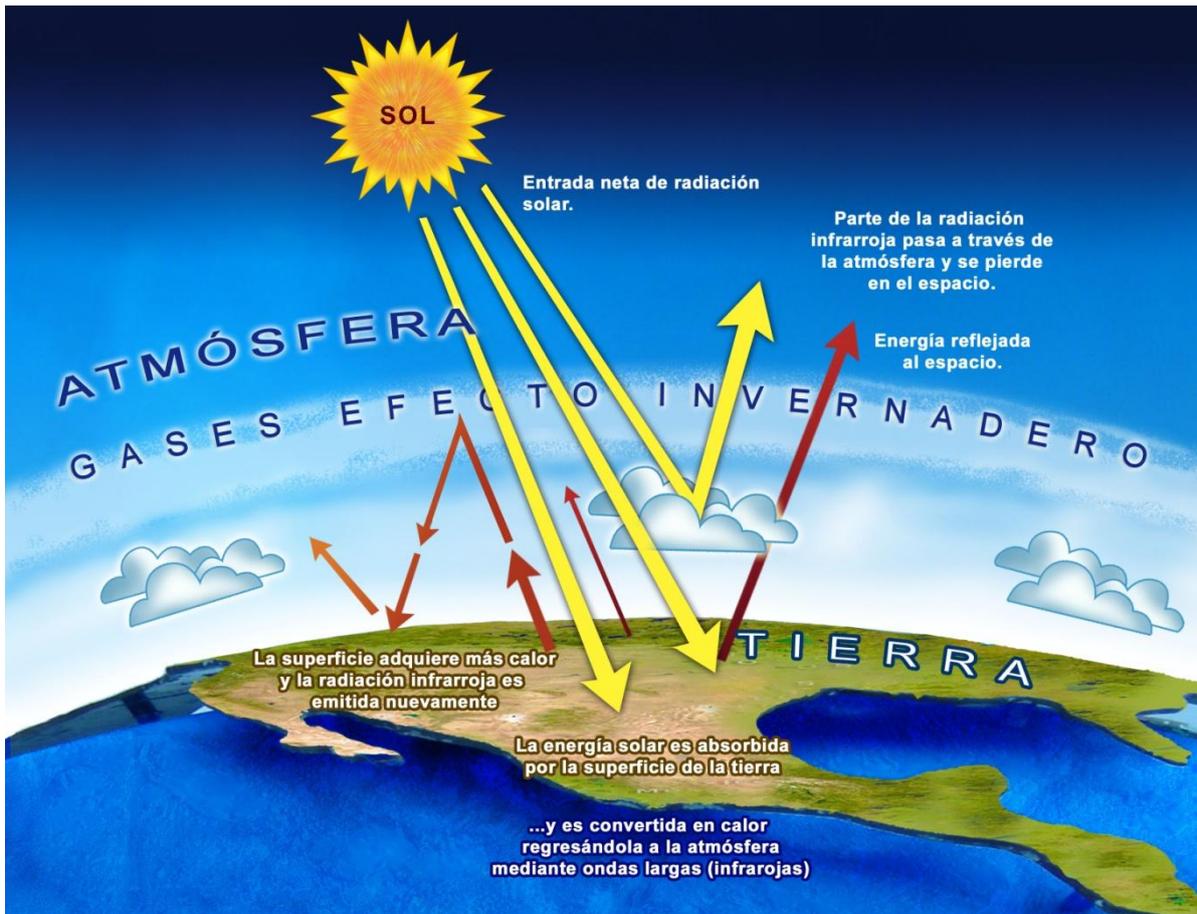


Figura 3.1 El efecto invernadero.

Fuente: López (2009)

Una parte de los rayos provenientes del sol es absorbida por la superficie terrestre, la cual se calienta y como consecuencia emite radiación terrestre de onda larga que no puede traspasar el aire de las alturas debido a la opacidad mencionada anteriormente, así que la radiación rechazada es absorbida por la atmósfera y las nubes. El ciclo se repite y, al ocurrir, las capas de la atmósfera y las nubes se van calentando paulatinamente al tiempo que reemiten radiación térmica hacia abajo y hacia arriba. Este fenómeno natural propicia que la atmósfera superficial sea cálida y conforme se asciende, la atmósfera se va enfriando (GARDUÑO, 1994).

En síntesis, el efecto invernadero natural es el calentamiento que produce la radiación atrapada entre la superficie terrestre y la barrera que forman los gases de efecto invernadero, sobre todo en las capas atmosféricas bajas, dando lugar a una temperatura ambiental más alta que la que habría en ausencia de dicho fenómeno.

3.2 Gases de Efecto Invernadero

La atmósfera terrestre es una masa de gases un tanto homogénea compuesta por nitrógeno, oxígeno, argón y un grupo minoritario de gases entre los que se ubican los que propician el fenómeno de invernadero. Existen alrededor de treinta gases de efecto invernadero sin embargo los más importantes (además del vapor de agua) son: dióxido de carbono, metano, óxido nitroso, hidrofluorocarbonos, perfluorocarbonos y hexafluoruro de azufre que reconoce la Convención Marco sobre el Cambio Climático a través del Protocolo de Kyoto.

En los últimos 10 000 años, los gases de efecto invernadero habían permanecido relativamente estables en cuanto a su concentración atmosférica, hasta que en la segunda mitad del siglo XVIII inició lo que se conoce como Revolución Industrial, que supuso la introducción de las máquinas y la producción industrial en serie que utiliza combustibles fósiles (carbón, petróleo, gas natural) como energía motora. La combustión de hidrocarburos fósiles inició una era de subproducción de gases sin precedentes, que continúa implacablemente en aumento.

De esos gases destaca el dióxido o bióxido de carbono (CO_2) que es el GEI más importante por su proporción de concentración y por su largo tiempo de vida en la atmósfera.

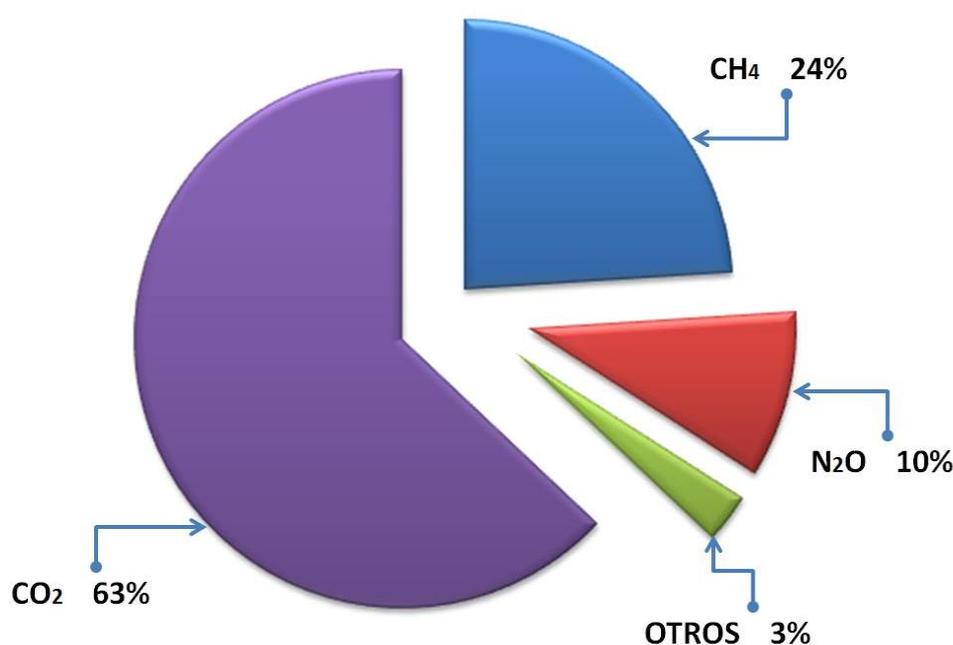


Figura 3.2 Proporción de los gases de efecto invernadero en la atmósfera global.

Fuente: López (2009)

Pero aún cuando el CO_2 se genera industrialmente o artificialmente, éste y otros gases de efecto invernadero (GEI) existen naturalmente en la atmósfera, tal es el caso del metano (CH_4), óxido nitroso (NO_2), vapor de agua (H_2O) y ozono (O_3). Otros como los clorofluorocarbonos y los fluorados son gases antropogénicos. La figura 3.2 contiene la proporción de los GEI en la atmósfera, contemplados en el Protocolo de Kyoto.

La permanencia de los GEI en la atmósfera, llamada tiempo de vida, y su eficiencia o potencial de calentamiento es variable para cada uno de ellos. Los gases de vida corta como el metano no tienen tiempo de distribuirse homogéneamente en la atmósfera, ni incluso de ascender a las alturas del “techo del invernadero”. Algunos otros, tales como el clorofluorocarbono llamado freón (CFC-115) utilizado en el negocio del enfriamiento son sumamente estables, lo que propicia que su disociación acontezca con radiación de onda muy corta para lo que debe ascender a miles de metros, con tardanza de hasta miles de años. A continuación se presentan características particulares de los gases de efecto invernadero (GEI):

A continuación se presenta un resumen de algunas de las características de los GEI como su concentración en la atmósfera actual y la que tenían en la era pre-industrial, su tiempo de vida en la atmósfera en años y su principal fuente por actividad humana.

Tabla 1. Principales características de los Gases de Efecto Invernadero

Gas	Concentración Pre-Industrial (ppmv)	Concentración (ppmv)	Vida en la Atmósfera (años)	Fuente por actividad humanas
Dióxido de carbono (CO ₂)	280	388 (39% de incremento)*	Variable	Combustibles fósiles (carbón, derivados del petróleo y gas), producción de cemento, cambio de uso de suelo
Metano (CH ₄)	0.7	1.8 (257% de incremento)**	12	Combustibles fósiles, descomposición anaerobia (cultivo de arroz, rellenos sanitarios, estiércoles), minas y pozos petroleros
Oxido nitroso (N ₂ O)	0.27	0.32 (19% de incremento)**	114	Producción y uso de fertilizantes nitrogenados, quema de combustibles fósiles (motores)
CFC-12 (CCl ₂ F ₂)	0	0.538 ppbv***		Refrigerantes líquidos/espumas
HCFC-22 (CHClF ₂)	0	0.169 ppbv***		Refrigerantes líquidos
Perfluorometano (CF ₄)	0	0.074 ppbv***	>50,000	Producción de aluminio
Hexafluoruro de azufre (SF ₆)	0	0.0056 ppbv***	3,200	Fluido dieléctrico

Fuente: IPCC (2007)

3.2.1 Dióxido de carbono (CO₂)

Gas que existe espontáneamente y también como subproducto del quemado de combustibles fósiles procedentes de depósitos de carbono como el petróleo, el gas o el carbón, de la quema de biomasa, o de los cambios de uso de la tierra y otros procesos industriales.

Es también el gas de referencia para la medición de otros gases de efecto invernadero y, por consiguiente, su potencial de calentamiento mundial es igual a 1. Es el gas de efecto invernadero antropogénico que más afecta al equilibrio radiativo de la Tierra debido al mayor aporte de calentamiento global por su abundancia en la atmósfera, además de su largo tiempo de vida que es de 50 -200 años. La concentración de CO₂ en la atmósfera está en equilibrio con la del océano y éste lo depona enviándolo al fondo como carbonato.

Previamente al inicio de la Revolución Industrial las concentraciones de dióxido de carbono en la atmósfera estaban relativamente estables en 280 partes por millón en volumen (ppm), es decir 280 moléculas de cada millón que había en el aire eran CO₂. Actualmente se registran 382 ppm y continúan creciendo; del 31% que implica este incremento, 18% ha ocurrido en los últimos 40 años (IPCC, 2007).

Según el IPCC tan alta concentración no se presentó en los últimos 420 000 años, y es probable que tampoco haya ocurrido en los últimos 20 millones de años. Los científicos del clima predicen que las concentraciones atmosféricas del gas en cuestión, podría crecer hasta 490 - 1 260 ppm en este siglo.

3.2.2 Metano (CH₄)

El metano es uno de los seis gases de efecto invernadero que el Protocolo de Kyoto se propone reducir. Es el componente principal del gas natural, y está asociado a todos los hidrocarburos utilizados como combustibles, a la ganadería y a la agricultura.

Es 21-23 veces más eficaz al atrapar calor que el CO₂, aunque afortunadamente tiene una duración de solo 12 ± 3 años en la atmósfera. Actualmente la concentración de metano atmosférico es de menos de 2 ppm y se incrementa 1% al año. Este gas es producido cuando las bacterias descomponen la materia orgánica en ausencia de oxígeno. Las fuentes principales de metano son los tiraderos de basura, campos para cultivo de arroz, hatos ganaderos, colonias de termitas, pantanos. Las actividades humanas han aumentado estas fuentes, extendiéndose a las minas de carbón, pozos petroleros, tanques de gas doméstico.

3.2.3 Óxido nitroso (N₂O)

Este óxido es un subproducto industrial que puede formarse al calentar nitrato de amonio. Su concentración es baja en la atmósfera, pero tiene 300 veces el efecto invernadero del CO₂ y una vez emanado dura más de un siglo. La mayor parte de los fertilizantes se basan en el nitrato de amonio y como el uso de este tipo de aditivos para el suelo se está incrementando, las cantidades de N₂O en la atmósfera también están creciendo.

La fuente antropogénica principal de óxido nitroso es la agricultura (la gestión del suelo y del estiércol), pero hay también aportaciones importantes provenientes del tratamiento de aguas residuales, del quemado de combustibles fósiles y de los procesos industriales químicos.

El óxido nitroso es también producido naturalmente por muy diversas fuentes biológicas presentes en el suelo y en el agua, y particularmente por la acción microbiana en los bosques tropicales pluviales. El óxido nitroso en la atmósfera se ha incrementado desde el inicio de la Revolución Industrial. Puesto que el 78% de la atmósfera es nitrógeno y 21% oxígeno, es fácil encontrar a estos dos elementos juntos, los que en presencia de quema de combustibles producen óxido nitroso. En las grandes ciudades, como la de México, es común encontrarlo como “smog fotoquímico”. Los incendios forestales contribuyen también a la generación del gas en cuestión, así como los procesos microbianos en suelo y agua.

3.2.4 Clorofluorocarbonos (CFCs)

Término que designa colectivamente a un grupo de especies orgánicas parcialmente halogenadas que abarca los clorofluorocarbonos (CFC), los hidroclofluorocarbonos (HCFC), el cloruro de metilo, el bromuro de metilo, etc. Muchos de los Clorofluorocarbonos tienen un potencial de calentamiento mundial elevado. Los CFC que contienen cloro y bromo intervienen también en el agotamiento de la capa de ozono.

El Hexafluoruro de azufre (SF₆), uno de los seis gases de efecto invernadero se utiliza profusamente en la industria pesada para el aislamiento de equipos de alta tensión y como auxiliar en la fabricación de sistemas de refrigeración de cables y de semiconductores. Los Hidrofluorocarbonos (HFCs) son producidos comercialmente en sustitución de los clorofluorocarbonos.

Los HFCs se utilizan ampliamente en refrigeración y en fabricación de semiconductores. Por su parte, los Perfluorocarbonos (PFC) son subproductos de la fundición del aluminio y del enriquecimiento del uranio. Las cantidades de CFCs son reducidas en la atmósfera, sin embargo su poder como GEI y su tiempo de vida son muy amplios. Afortunadamente a través del Protocolo de Montreal firmado en 1987, se alcanzó un acuerdo internacional para reemplazar el uso de este tipo de gases por otro grupo sustituto denominado gases fluorados (hidrofluorocarbonos, perfluorocarbonos y hexafluoruro de azufre), los cuales tienen menor tiempo de vida y al descomponerse son menos agresivos con relación al ozono, por consiguiente son éstos últimos los gases considerados como GEI en el protocolo de Kyoto.⁸

⁸ López, V. (2008). "CAMBIO CLIMÁTICO Y CALENTAMIENTO GLOBAL. Ciencia, evidencias, consecuencias y propuestas para enfrentarlos". Editorial Trillas. México, D.F., (pág. 71).

Capítulo 4. Componentes estratégicas fundamentales del Cambio Climático

El cambio climático es un fenómeno actual que ha comenzado a impactar negativamente en distintos sectores económicos, sociales, ambientales de todo el planeta; distintos centros de investigación han realizado estimaciones de las emisiones totales de GEI en la atmósfera y si se considera el tiempo de vida de los GEI se puede pronosticar que dichos gases tardarán cien años o más en disiparse y mucho más tiempo tardarán los gases industriales porque son considerablemente más estables en la atmósfera y que además, sino se toman las medidas de mitigación de emisiones necesarias, dichas concentraciones podrían aumentar sustancialmente a través del tiempo.

Por esta razón científicos, investigadores y demás personas relacionados con el estudio del fenómeno han establecido las tres principales medidas de acción para hacerle frente al cambio climático, es decir, el estudio e identificación de vulnerabilidades de distintos sectores y regiones al fenómeno, las medidas de mitigación de emisiones de GEI, y las medidas de adaptación, conocidas como las componentes estratégicas fundamentales del cambio, que se abordan en este capítulo.

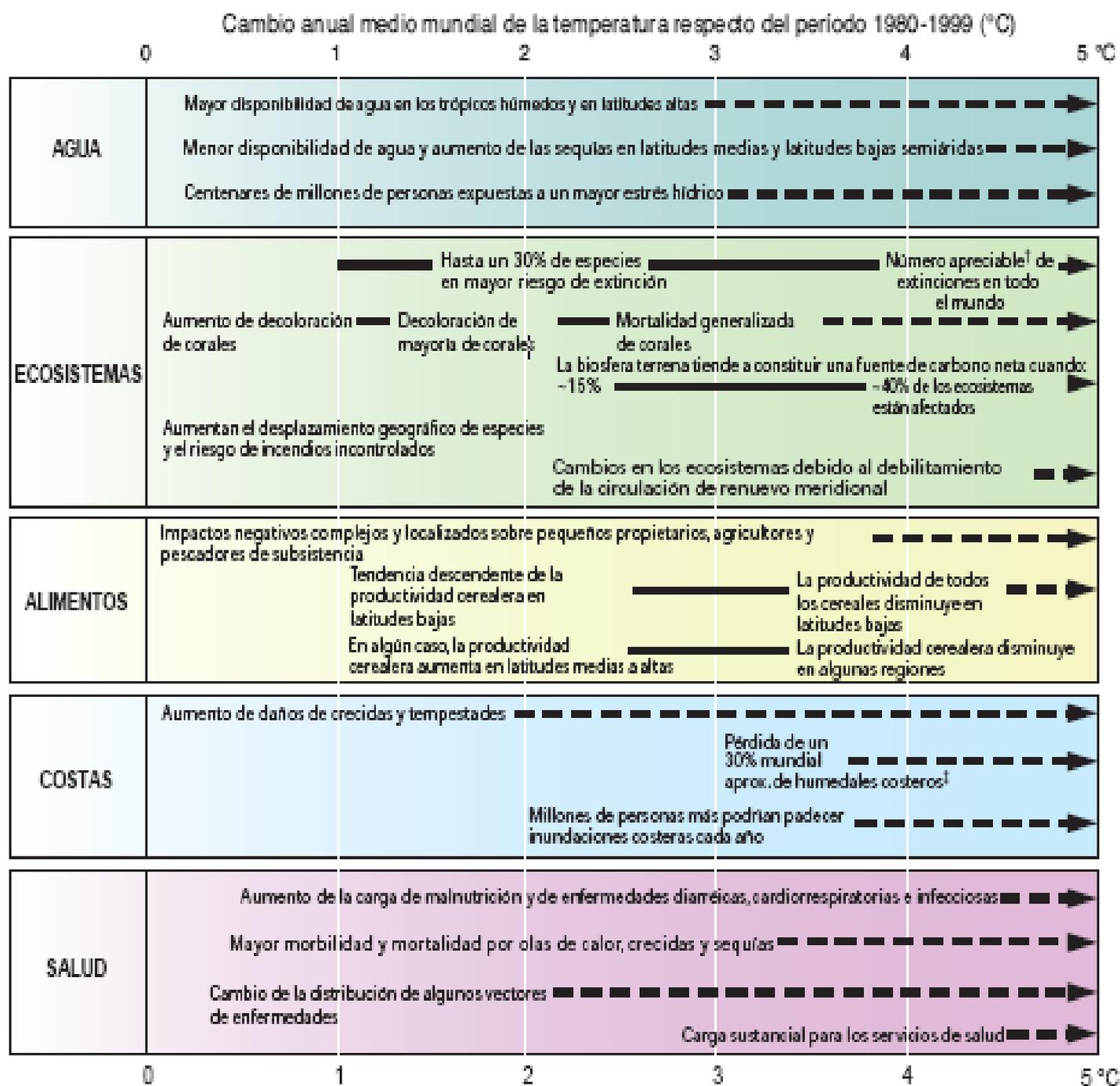
4.1 Vulnerabilidad al Cambio climático

La vulnerabilidad es un término que describe el nivel al que un sistema es susceptible o no de soportar los efectos adversos del cambio climático, incluyendo tanto la vulnerabilidad climática como los eventos extremos propiciados por ese fenómeno. La vulnerabilidad está en función del carácter, magnitud y velocidad de la variación climática a los que se encuentra expuesto el sistema, así como la sensibilidad y capacidad de adaptación (IPCC, 2007).

El cambio del clima global provocado por el calentamiento global, se manifiesta con diferentes evidencias a lo largo del planeta, ya que las diferentes poblaciones humanas y los ecosistemas varían en sus niveles de vulnerabilidad, dado que las regiones tienen características y ubicaciones que las hacen diferentes unas de otras. Las afirmaciones del Cuarto Reporte del IPCC, establecen que de continuar las emisiones de GEI en o por encima de los valores actuales, puede provocarse mayor calentamiento global e inducir muchos cambios en el sistema climático global durante el siglo XXI; los cuales pueden ser más fuertes que aquellos observados durante el siglo XX.

A continuación se presentan ejemplos de los posibles impactos asociados con el cambio anual de la temperatura en el agua, en los ecosistemas, alimentos, costas y salud; estos impactos se presentan en función del aumento en la temperatura global, es decir, de 1 a 5°C. Estos posibles impactos variarán en función del grado de adaptación, de la tasa del cambio de la temperatura y de la vía socioeconómica.

Tabla 2. Ejemplos de impactos asociados con el cambio anual medio mundial de la temperatura.⁹



† Se entiende por 'apreciable' más de un 40%. ‡ Basado en la tasa promedio de aumento del nivel del mar, es decir, 4,2 mm/año entre 2000 y 2080.

Fuente: IPCC (2007).

Mediante las estimaciones es que el IPCC y otros organismos han podido clasificar diferentes tipos de impactos relacionados con el cambio de la temperatura, los cuales se presentan a continuación.

⁹ IPCC (2007). "Cambio climático 2007: Impactos, Vulnerabilidad y Adaptación". 4° Reporte de Evaluación sobre cambio climático. (pág. 26).

4.1.1 Efectos físicos del Incremento en la temperatura

Los efectos potenciales del incremento de las temperaturas globales incluyen:

- Elevación del nivel del mar.
- Incremento en el estrés hídrico debido al cambio en los patrones de precipitación, e incremento en la frecuencia e intensidad de inundaciones y sequías.
- Pérdida de los glaciares y subsuelo congelado.
- Cambios en los sistemas de circulación oceánica, que ejercen influencia sobre el clima.
- Incremento en la incidencia de inundaciones tempestivas.
- Cambios en la propagación de enfermedades.

Cabe mencionar que existe gran incertidumbre acerca de los resultados potenciales de la elevación de las temperaturas, en términos de magnitud, marco cronológico y ubicación de los impactos.

4.1.2 Impactos pronosticados en los seres humanos y los ecosistemas

Se pronostica que el cambio climático podría tener los siguientes impactos en los seres humanos y los ecosistemas (IPCC, 2007):

- Globalmente, aproximadamente 20-30% de las especies evaluadas hasta el momento, están en peligro de extinción si se exceden los incrementos promedio en el calentamiento global 1.5-2.5°C.
- En Latinoamérica, la productividad de algunos cultivos está proyectada para disminuir y la productividad de ganado disminuirá con consecuencias adversas para la seguridad alimentaria.

4.1.3 Impactos socioeconómicos del cambio climático

Los impactos y respuestas sociales al cambio climático variarán dependiendo del tamaño de la población y su distribución, condiciones económicas y geopolíticas y la distribución de la riqueza. Los impactos posibles a los seres humanos incluyen:

- Hambruna: Si la demanda por alimentos sobrepasa el suministro por fallas en cultivos o por mayor presión sobre los suministros de alimentos resultado de la migración de las poblaciones.
- Epidemias: Las epidemias podrían ser provocadas debido a la cambiante proliferación de las enfermedades resultado de la migración de especies, mayor incidencia de inundaciones o contaminación del agua resultado de eventos climáticos extremos.
- Migración masiva: Este fenómeno será el resultado del cambio en los patrones de asentamientos humanos, resultados de nuevos vectores de enfermedades humanas, elevación del mar, incremento en el riesgo de huracanes e inundaciones, sequías de ríos y fuentes alimentadas por el descongelamiento glacial, intrusión salina y contaminación de los acuíferos.
- Conflicto: Resultado de la competencia por recursos disminuidos.

Para el 2050, se pronostica que más de 200 millones de personas pueden verse forzadas a dejar sus países nativos por la elevación del nivel del mar, inundaciones y sequías, con muchas más enfrentándose potencialmente a muertes tempranas debido a la malnutrición y elevación del calor. (IPCC, 2007).¹⁰

4.2 Mitigación de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero

En el 4º Reporte del IPCC se menciona que las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) se han incrementado desde la era preindustrial, con un aumento de un 70% entre 1970 y 2004, pasando de 28,7 a 49 gigatoneladas de dióxido de carbono equivalente (GtCO₂ e) y que las emisiones crecientes de GEI debido a actividades humanas han llevado a un marcado incremento en las concentraciones atmosféricas de los GEI (IPCC, 2008).

El mayor crecimiento en las emisiones mundiales de GEI entre 1970 y 2004 provino del sector de suministro energético (un incremento de 145%). El incremento en emisiones directas del transporte en este período fue de un 120%, de la industria un 65% y de los usos del suelo, cambio de usos del suelo y silvicultura y un 40%. Entre 1970 y 1990 las emisiones directas de la agricultura crecieron un 27% y las de las construcciones un 26%, permaneciendo estas últimas en los niveles alcanzados en 1990. Sin embargo, el sector de la construcción presenta un alto nivel de consumo de electricidad, y por ello el total de emisiones directas e indirectas en este sector es mucho mayor (75%) que el de las emisiones directas (IPCC, 2007).

Mitigación es la reducción de las emisiones netas de gases de efecto invernadero (GEI), tanto por la disminución de dichos GEI como por el incremento de los sumideros que absorben esos gases. Una serie de políticas, incluidas las de cambio climático, seguridad energética, y desarrollo sostenible, ha sido eficaz en la reducción de emisiones de GEI en diferentes sectores y en muchos países. La escala de estas medidas, sin embargo, no ha sido suficientemente amplia como para contrarrestar el crecimiento mundial de las emisiones

Las estrategias de mitigación tratan básicamente de intervenir en las causas del cambio climático siendo el resultado a largo plazo y de cobertura global.

No obstante, la mitigación puede tener beneficios secundarios, por ejemplo la reducción de la contaminación y la preservación de la biodiversidad de un área determinada donde se aplique esta medida. En esos casos los beneficios no sólo son importantes sino que éstos pueden ser inmediatos, o al menos en el mediano plazo, a diferencia de la disminución de GEI cuyos beneficios de mitigación pueden tardar decenas de años en lograrse.¹¹

¹⁰ IPCC (2007). "Cambio climático 2007: Impactos, Vulnerabilidad y Adaptación". 4º Reporte de Evaluación sobre cambio climático. (pág. 30).

¹¹ IPCC (2007). "Cambio climático 2007: Impactos, Vulnerabilidad y Adaptación". 4º Reporte de Evaluación sobre cambio climático. (pág. 50).

Las medidas de mitigación de emisiones se aplican principalmente en la producción y uso de energía para tratar de reducir los GEI. Es importante entonces, fijar la atención en el tipo de energía que se utilice, puesto que no todas las modalidades de producción energética tienen la misma capacidad de emitir ese tipo de gases. La incorporación de fuentes de energías renovables es una de las principales estrategias de reducción de emisiones pues éstas podrían desplazar gradualmente la energía fósil productora de GEI, principalmente de CO₂.

Estabilizar la concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera a niveles que permitan prevenir interferencias antropogénicas peligrosas en el sistema climático, es el objetivo central de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC), lo cual se puede intentar de dos maneras, una de ellas es disminuyendo las emisiones en las fuentes antropogénicas y la otra es preservar o crear sumideros o depósitos de GEI.

El artículo 3.3 de la UNFCCC establece que los países deben tomar medidas preventivas para anticipar, prevenir o minimizar los efectos del cambio climático, y minimizar sus efectos adversos. Para asegurar los beneficios globales al menor costo posible, las políticas y medidas preventivas deben considerar los diferentes niveles socioeconómicos, así como las fuentes y sumideros más importantes de GEI, lo cual debe llevarse a cabo en un espíritu de cooperación entre las diferentes partes (países) que intervienen.

Es importante resaltar la especial consideración que hace la Convención de los aspectos científicos, técnicos y socioeconómicos con relación a la mitigación, identificando básicamente los temas de innovación tecnológica y oportunidades prácticas y soluciones para contribuir al desarrollo sustentable. Sugiere, asimismo, organizar talleres en los temas siguientes:

- Agricultura, silvicultura y desarrollo rural.
- Planificación urbana, desarrollo y transporte.
- Generación de energía, incluyendo energías renovables.
- Eficiencia en el uso energético.
- Evitar la emisión de dióxido de carbono y metano.

Adicionalmente a la reducción de emisiones antropogénicas de GEI, se sugiere tener especial cuidado en los sumideros y depósitos de esos gases como una opción más en la mitigación del cambio climático. Con relación a los países incluidos en el Anexo I del Protocolo de Kyoto, que son quienes más contribuyeron y contribuyen a la emanación de GEI, se han establecido algunas líneas de políticas para tratar de evitar seguir incrementando el cambio del clima. La lista siguiente resume esos propósitos.

Principales objetivos de las políticas de cambio climático de los países del Anexo I:¹²

Energía

- Eficiencia económica en el abastecimiento y uso de la energía
- Diversificación de fuentes energéticas
- Reformar el sector energético para incrementar la eficiencia económica
- Eficiencia en el uso de recursos naturales
- Impulsar los mercados de emisiones de carbono

Transporte

- Impulsar el transporte sustentable
- Gestión integral de la calidad del aire
- Medidas para abatir la saturación del tráfico

Procesos industriales

- Reducción de la emisión de gases subproducidos
- Incremento de la eficiencia energética
- Minimización en el uso y emisión de gases fluorados

Agricultura

- Incrementar el cuidado ambiental
- Buscar la sustentabilidad mediante el mejoramiento de la calidad de los alimentos, desarrollo rural, productos orgánicos y planificación del uso de la tierra

Cambios en el uso del suelo y silvicultura

- Uso sustentable y protección de los recursos forestales
- Conservación de la biodiversidad, vida silvestre, suelo y agua
- Reforestación para incrementar la capacidad de los sumideros de GEI

Residuos

- Reducir los impactos de los residuos en el aire, suelos y aguas subterráneas
- Reciclar y minimizar residuos sólidos

4.3 Adaptación al Cambio Climático

De acuerdo con la (UNFCC) el término “adaptación al cambio climático” se refiere al proceso a través del cual, las sociedades se vuelven más capaces de hacer frente ante un futuro incierto.

Adaptarse al cambio climático implica tomar las medidas correctas para reducir los efectos negativos del cambio climático (o explotar los positivos) realizando ajustes y cambio adecuados “.¹³ La definición de adaptación aplica a la variabilidad climática así como al cambio climático a largo plazo.

¹² IPCC (2007). “Cambio climático 2007: Impactos, Vulnerabilidad y Adaptación”. 4° Reporte de Evaluación sobre cambio climático. (pág. 51).

¹³ IPCC (2007). “Contribución del Grupo de Trabajo II al 4° Reporte de Evaluación sobre cambio climático”. (pág. 53).

La adaptación al cambio climático no es algo nuevo, la humanidad siempre se ha enfrentado a un futuro incierto cuando hace frente a variaciones y eventos climáticos extremos. El hombre ha buscado continuamente rutas de supervivencia y aún prosperan en tiempos de sequía e inundaciones y otros eventos extremos climáticos. La capacidad para adaptarse permite a las sociedades enfrentarse a una variedad de incertidumbres futuras.

A escala limitada, se están adoptando ya planes de adaptación al cambio climático. La adaptación puede reducir la vulnerabilidad, especialmente cuando se enmarca en iniciativas sectoriales más amplias. Hay opciones de adaptación viables que es posible aplicar en algunos sectores a bajo costo y con un alto nivel de beneficio/costo. Sin embargo, las estimaciones completas de los costos y beneficios mundiales de la adaptación son escasas.

La capacidad adaptativa está íntimamente relacionada con el desarrollo social y económico, aunque se halla desigualmente distribuida tanto entre las sociedades como en el seno de estas. Existe toda una serie de impedimentos que limitan la aplicación y la efectividad de las medidas de adaptación. La capacidad de adaptación es dinámica, y depende en parte de la base productiva social, en particular de: los bienes de capitales naturales y artificiales, las redes y prestaciones sociales, el capital humano y las instituciones, la gobernanza, los ingresos a nivel nacional, la salud y la tecnología. Incluso sociedades de alta capacidad adaptativa siguen siendo vulnerables al cambio climático, a la variabilidad y a los valores extremos.

A continuación se presenta algunos ejemplos de medidas de adaptación planificada dividida por sectores fundamentales para la economía de cualquier sociedad.

Tabla 3. Ejemplos de adaptación planificada, por sectores.¹⁴

Sector	Opción/estrategia de adaptación
Agua	Potenciación de la recogida de agua de lluvia; técnicas de almacenamiento y conservación de agua; reutilización del agua; desalación; eficiencia de uso del agua y de la irrigación.
Agricultura	Modificación de las fechas de siembra y plantación y de las variedades de cultivo; reubicación de cultivos; mejora de la gestión de las tierras (por ejemplo, control de la erosión y protección del suelo mediante la plantación de árboles).
Infraestructura/ asentamientos (incluidas las zonas costeras)	Reubicación; muros de contención marina y barreras contra mareas de tempestad; reforzamiento de dunas; adquisición de tierras y creación de marismas/humedales como retardadores del aumento del nivel del mar y de las inundaciones; protección de las barreras naturales existentes.
Salud humana	Planes de actuación para hacer frente a los efectos del calor sobre la salud; servicios médicos de emergencia; mejora de las medidas de monitoreo y control de enfermedades sensibles al clima; agua salubre, y mejora de los saneamientos.
Turismo	Diversificación de las atracciones e ingresos turísticos; desplazamiento de las pistas de esquí a altitudes superiores y a glaciares; fabricación de nieve artificial.
Transporte	Reordenación/reubicación; normas de diseño y planificación de carreteras, ferrocarriles y otras infraestructuras para hacer frente al calentamiento y a los fenómenos de drenado.
Energía	Consolidación de la infraestructura secundaria de transmisión y distribución; cableado subterráneo para servicios públicos básicos; eficiencia energética; utilización de fuentes renovables; menor dependencia de fuentes de energía únicas.

Fuente: IPCC (2007).

La necesidad de adaptación a corto plazo está siendo impulsada por los altos incrementos en los costos de los eventos climáticos extremos que se componen cada vez más de una creciente densidad de población, erosión en los ecosistemas naturales de protección y envejecimiento de la infraestructura. En el largo plazo, será necesaria la adaptación al cambio climático para minimizar los impactos del aumento del nivel del mar en sociedades y ecosistemas y para proteger la calidad de vida.

El Reporte Stern¹⁵ relativo a la “Economía del Cambio Climático”, subraya que el cambio climático presentará serias ramificaciones en la economía mundial si la sociedad falla en adaptarse al cambiante clima, mientras que al mismo tiempo actúa para reducir las emisiones de efecto invernadero para prevenir mayores cambios. De acuerdo con la (UNFCC), la adaptación y la mitigación necesitan el mismo nivel de atención. La adaptación no reemplaza la mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero. Por lo contrario, tanto la adaptación como la mitigación deben de complementarse una a la otra.

¹⁴ IPCC (2007). “Contribución del Grupo de Trabajo II al 4° Reporte de Evaluación sobre cambio climático”. (pág. 55).

¹⁵ Stern N. (2007). “Revisión Stern: La economía del cambio climático, 2007”

Se necesita una estrategia combinada para la mitigación y la adaptación: Mitigar el cambio climático reduciendo emisiones, no protegerá a las comunidades de los efectos del cambio climático, pero si en una escala lo suficientemente global, reducirá el riesgo y la magnitud del cambio climático en el futuro.

La adaptación no reducirá la frecuencia o magnitud con la que ocurren los eventos por el cambio climático, sino que protegerá a la sociedad ante eventos como sequías, huracanes e inundaciones.

La coordinación de acciones de mitigación y adaptación traerán consigo beneficios globales. Es importante que las estrategias de adaptación no estorben los esfuerzos de mitigación o retengan las crecientes emisiones de carbono. Al mismo tiempo, la adaptación al cambio climático debe también evitar las prácticas inadvertidas de “mal adaptación”. La mal adaptación se refiere a las medidas de adaptación que no reducen la vulnerabilidad sino que contribuyen a incrementarla (Stern, 2006).

4.4 Reflexión crítica a las componentes estratégicas del cambio climático

El doctor en economía Enrique Leff quien es Coordinador de la Red de Formación Ambiental para América Latina y el Caribe en el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente ha escrito diversos artículos relacionados con los problemas del medio ambiente y su relación con el modelo económico implementado desde los 60's el cual se centra en el crecimiento desmedido de la economía basado en la producción y el consumo acelerado que sobrepasa los límites del medio ambiente para sostenerlo.

En este trabajo de tesis se presenta información de uno de sus artículos: "Decrecimiento o desconstrucción de la economía: Hacia un mundo sustentable". Enrique Leff sostiene que desde la década de los 60's el mundo experimentó el crecimiento exacerbado de su población lo que provocó un desequilibrio ecológico originando un fenómeno que denomina "crisis ambiental del planeta".

El libro Primavera Silenciosa (*"Silent Spring"*) es un libro que fue publicado en 1962 y representa una de las primeras y más influyentes manifestaciones científicas que abordan el desequilibrio ambiental del planeta; este libro fue escrito por la bióloga Rachel Carson quien advirtió los efectos perjudiciales de los pesticidas en el medio ambiente y culpaba a la industria química de la creciente contaminación, cuatro décadas después de la Primavera Silenciosa, la destrucción de los bosques, la degradación ecológica y la contaminación de la naturaleza se han incrementado en forma vertiginosa, generando el calentamiento del planeta por las emisiones de gases de efecto invernadero.

Los mecanismos de respuesta al fenómeno de cambio climático que amenaza la estabilidad de los ecosistemas, las poblaciones y la economía mundial conocidos como mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero y de adaptación, a pesar de tener una adecuada base científica y técnica no han resultado dirigibles y están muy lejos de responder a los efectos que el cambio produce en diferentes regiones del planeta.

Hoy, ante el fracaso de los esfuerzos por detener el calentamiento global (en el Protocolo de Kyoto se estableció la necesidad de reducir los GEI al nivel alcanzado en 1990), surge nuevamente la conciencia de los límites del crecimiento y emerge el reclamo por el decrecimiento. El decrecimiento se plantea ante el fracaso del propósito de desmaterializar la producción, del proyecto impulsado por el Instituto Wuppertal que pretendía reducir por 4 y hasta 10 veces los insumos de naturaleza por unidad de producto. Resurge así el hecho incontrovertible de que el proceso económico globalizado es insustentable; que la eco-eficiencia no resuelve el problema de una economía en perpetuo crecimiento en un mundo de recursos finitos, porque la degradación entrópica es irreversible (Leff, 2008)

Leff menciona la gravedad de que un buen número de países, incluido México, depende económicamente de sus actividades petroleras, pues estas actividades generan las más importantes emisiones internacionales.

De manera que la despetrolización de la economía es un imperativo ante los riesgos catastróficos del cambio climático si se rebasa el umbral de las 550 ppm de gases de efecto invernadero como lo predice el Informe Stern y el Panel Intergubernamental de Cambio Climático.

Este investigador ambientalista menciona que el decrecimiento de la economía no trataría solo de ecologizar a la economía, también pretende moderar el consumo o de incrementar las fuentes alternativas y renovables de energía en función de los nichos de oportunidad económica que se hacen rentables ante el incremento de los costos de energías tradicionales. Las ventajas que ofrece la implementación de energías alternativas son bien conocidas por los gobernantes e instituciones, sin embargo, no se realizan por la gran dependencia que se tiene de la generación de energía a través de la quema de combustibles fósiles. Por lo tanto, es necesario desarrollar otro tipo de economía fundada en los potenciales de la naturaleza y en la creatividad de las culturas; en los principios y valores de una racionalidad ambiental.

II.- Alcance Metodológico del trabajo de Tesis

Capítulo 5. Metodología para la elaboración de inventarios nacionales del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC)

Como se mencionó en la parte de Antecedentes de este trabajo de tesis, el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC), es un organismo científico-técnico intergubernamental que tiene la función de analizar de forma exhaustiva, objetiva, abierta y transparente, la información científica, técnica y socioeconómica relevante para entender los elementos científicos relacionados con el cambio climático. El IPCC es el organismo que tiene la competencia de establecer los criterios mundiales para la elaboración de las metodologías de elaboración de inventarios nacionales de emisiones de gases de efecto invernadero.

En el año de 1996 el IPCC elaboró un documento denominado “**Directrices del IPCC para Inventarios Nacionales de Gases de efecto invernadero**”¹⁶, el cual proporciona la información indispensable para poder llevar a cabo la planificación y redacción de un inventario nacional de emisiones empleando el criterio del IPCC y en el año de 2006 da a conocer la última actualización. Este documento tiene el objetivo de proporcionar diferentes metodologías que pueden ser utilizadas por cualquier país que forme parte de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC) para que a su vez los países le presenten a través de una comunicación los resultados de sus inventarios nacionales obtenidos a partir de alguna metodología.

Las Directrices del IPCC para Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero contienen 5 volúmenes, un volumen para la orientación general y generación de informes. A continuación se presenta una breve descripción de cada uno de ellos.

5.1 Volumen 1: Orientación general y generación de informes

5.1.1 Recopilación de Datos:

El procedimiento para la recopilación de datos es parte integral en la elaboración y actualización de un inventario de gases de efecto invernadero. Se deben establecer actividades formalizadas de recopilación de datos, adaptarlas a las circunstancias nacionales de los países y revisarlas en forma periódica. Existen en general dos tipos de datos que obtener: los *datos existentes* y los *nuevos datos* que se generan a través de sondeos o campañas de medición. Por otro lado, es importante mencionar que además de los datos se deben establecer *factores de emisión* para la estimación de las emisiones de GEI.

Para poder obtener datos confiables, es necesario que cada nación desarrolle una base de datos que concentre información estadística de los procesos industriales, consumo de energía eléctrica, transporte de sus organismos nacionales públicos y si es posible privados.

¹⁶ IPCC (2006). “Directrices del IPCC para los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero”.

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

Es decir, se deben realizar sondeos nacionales de energía, de las industrias, de los recursos forestales, de los desechos así como de censos para obtener información sobre las actividades agrícolas. Por otro lado, sino se cuenta con información confiable se pueden consultar fuentes de bibliografía especializada las cuales proporcionan datos de distintas actividades como las estadísticas de las Naciones Unidas, los informes del Instituto Geológico de los Estados Unidos (USGS, del inglés, *US Geological Survey*) sobre productos básicos, e informes técnicos, directrices, normas, sondeos por sectores publicados por asociaciones industriales.

Como se mencionó anteriormente, otro dato importante que se debe de generar o consultar son los factores de emisión. Un factor de emisión es una relación entre la cantidad de contaminante emitido a la atmósfera y una unidad de actividad. Los factores de emisión, en general, se pueden clasificar en dos tipos: los basados en procesos y los basados en censos.

El volumen de Energía y el de Desechos de las Directrices del IPCC para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero proporcionan orientación para el uso y selección de los factores de emisión. Por otro lado es muy importante mencionar que si el país no tiene una fuente de información confiable se pueden utilizar los factores de emisión que se proponen en la Base de Datos de Factores de Emisión del IPCC¹⁷.

5.1.2 Identificación de Categorías Principales

Una *categoría principal* es una categoría prioritaria en el sistema de inventarios nacionales porque su estimación influye significativamente sobre el inventario total de gases de efecto invernadero de un país, en cuanto al nivel absoluto, la tendencia, o la incertidumbre de emisiones.

A continuación se presentan las tablas de identificación de las categorías principales que propone el IPCC, las cuales se dividen en diferentes sectores principales: energía, procesos industriales y uso de productos, agricultura, silvicultura y desechos; los cuales son grupos de procesos, fuentes y sumideros relacionados. Estas figuras también proporcionan información del tipo de gas o gases de efecto invernadero que se generan en cada categoría los cuales deben de ser analizados por separado.

¹⁷ (IPCC) 2006. “Base de Datos de Factores de Emisión ([IPCC Emission Factor Database](http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/EFDB/main.php))”
<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/EFDB/main.php>

Tabla 4. Identificación de Categorías principales en el Sector Energía

Categoría	Gases de Efecto Invernadero	
Energía		
Actividades de quema de combustible - Industrias de la energía	CO ₂ , N ₂ O, CH ₄	CH ₄ Actividades de quema de combustible - CO ₂ , Transporte – Navegación marítima y fluvial N ₂ O
Actividades de quema de combustible - Industrias manufactureras y de la construcción	CO ₂ , N ₂ O, CH ₄	Actividades de quema de combustible - CO ₂ , Transporte – Otro tipo de transporte N ₂ O CH ₄
Actividades de quema de combustible - Transporte – Aviación civil	CO ₂ , N ₂ O, CH ₄	Emisiones fugitivas provenientes de la fabricación de combustibles – Combustibles sólidos CO ₂ , CH ₄
Actividades de quema de combustible - Transporte – Transporte terrestre	CO ₂ , N ₂ O, CH ₄	Emisiones fugitivas provenientes de la fabricación de combustibles – Petróleo y gas natural - Petróleo CO ₂ , CH ₄
Actividades de quema de combustible - Transporte – Ferrocarriles	CO ₂ , N ₂ O,	Emisiones fugitivas provenientes de la fabricación de combustibles – Petróleo y gas natural – Gas natural CO ₂ , CH ₄
		Transporte y almacenamiento de dióxido de carbono CO ₂

Tabla 5. Identificación de Categorías principales en el Sector de los procesos industriales y uso de productos

Categoría	Gases de Efecto Invernadero	
Procesos industriales y uso de productos		
Industria de los minerales - Producción de cemento	CO ₂	Producción de vidrio
Industria de los minerales - Producción de cal	CO ₂	Industria de los minerales - Otros usos de carbonatos en los procesos CO ₂
Industria de los minerales	CO ₂	Industria química – Producción de amoníaco CO ₂
		Industria química – Producción de ácido nítrico N ₂ O
		Industria química – Producción de ácido adípico N ₂ O
		Industria química – Producción de carburo CO ₂ , CH ₄ ,
		Industria química – Producción de CO ₂

dióxido de titanio	
Industria química – Producción de ceniza de sosa	CO ₂
Industria química - Producción petroquímica y de negro de humo	CO ₂ , CH ₄
Industria química – Producción fluoroquímica	HFC, PFC, SF ₆ , y otros gases halogenados
Industria de los metales – Producción del hierro y del acero	CO ₂ , CH ₄
Industria de los metales – Producción de ferroaleaciones	CO ₂ , CH ₄
Industria de los metales – Producción de aluminio	PFC, CO ₂
Industria de los metales – Producción de magnesio	CO ₂ , SF ₆ , PFC, HFC, otros gases

	halogenados
Industria de los metales – Producción de plomo	CO ₂
Industria de los metales – Producción de zinc	CO ₂
Uso de productos no energéticos de combustibles y de solvente	CO ₂
Industria electrónica	SF ₆ , PFC, HCF, otros gases halogenados

Tabla 6. Identificación de categorías principales en el sector desechos

Categoría	Gases de Efecto Invernadero
Desechos	
Eliminación de desechos sólidos	CH ₄
Tratamiento biológico de los desechos sólidos	CH ₄ , N ₂ O
Incineración e incineración abierta de desechos	CO ₂ , N ₂ O, CH ₄

Tratamiento y eliminación de aguas residuales	CH ₄ , N ₂ O
Emisiones indirectas de N ₂ O de la deposición atmosférica de nitrógeno en NO _x y NH ₃	N ₂ O indirecto

Tabla 7. Identificación de categorías principales en el sector de agricultura, silvicultura otros usos de la tierra.

Categoría	Gases de Efecto Invernadero
Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra	
Fermentación entérica	CH ₄
Gestión del estiércol	CH ₄ , N ₂ O
Tierras forestales que permanecen como tales	CO ₂
Tierras convertidas en tierras forestales	CO ₂
Tierras de cultivo que permanecen como tales	CO ₂
Tierras convertidas en tierras de cultivo	CO ₂
Pastizales que permanecen como tales	CO ₂
Tierras convertidas en pastizales	CO ₂
Bonales que permanecen como tales	CO ₂ , N ₂ O
Tierras inundadas que permanecen como tales	CO ₂
Tierras convertidas en humedales	CO ₂
Asentamientos que permanecen como tales	CO ₂
Tierras convertidas en asentamientos	CO ₂
Quemado de biomasa	CH ₄ , N ₂ O
Encalado	CO ₂
Emisiones directas de N ₂ O de los suelos gestionados	N ₂ O
Emisiones indirectas de N ₂ O de los suelos gestionados	N ₂ O indirecto
Emisiones indirectas de N ₂ O resultantes de la gestión del estiércol	N ₂ O indirecto
Cultivo del arroz	CH ₄
Productos de madera recolectada	CO ₂

Fuente: IPCC (2006). "Directrices del IPCC para los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero", p.40.

5.1.3 Cálculo de emisiones por categoría principal

Para calcular las emisiones que genera cada categoría principal se requiere de la información de cada actividad (AD) o datos de la actividad, en inglés “activity data” y el factor de emisión (EF), en inglés “emission factor” de cada categoría tal y como se presenta en la ecuación 1:

$$Emisiones = AD * EF \quad (1)$$

Donde:

<i>Emisiones</i> =	Emisiones de la actividad analizada, en unidades de equivalentes de CO ₂
<i>AD</i> =	Datos de la actividad, las unidades dependen del tipo de actividad analizada.
<i>EF</i> =	Factor de Emisión, las unidades dependen del tipo de actividad analizada.

5.2 Volumen 2: Energía

Para la mayoría de los países y economías, los sistemas de energía se mueven por la combustión de los combustibles fósiles. Durante la combustión, el carbono y el hidrógeno de los combustibles fósiles se convierten principalmente en dióxido de carbono (CO₂) y agua (H₂O), que liberan la energía química del combustible en forma de calor. Normalmente, se utiliza este calor directamente para producir energía mecánica, muchas veces para generar electricidad o para el transporte. El sector energético suele ser el más importante de los inventarios de emisiones de gases de efecto invernadero y, comúnmente, aporta más del 90 por ciento de las emisiones de CO₂ y 75 por ciento del total de las emisiones de gases de efecto invernadero de los países desarrollados.

5.2.1 Recopilación de la información:

Para poder estimar las emisiones que genera el sector energético es necesario contar con estadísticas del consumo de combustible. Es importante mencionar que se pueden consultar dos fuentes principales de estadísticas internacionales sobre la energía: “Key World Energy Statistics” elaborado por la Agencia Internacional de Energía (AIE)¹⁸, este organismo cuenta con información confiable de 130 países, incluido México y condensa el 98% del consumo mundial de energía y casi toda la producción energética; otra fuente útil de información son las estadísticas de las Naciones Unidas (ONU). Ambos organismos internacionales recopilan datos de la energía de las administraciones nacionales de sus países miembros, a través de sistemas de cuestionarios.

¹⁸ Agencia Internacional de Energía (2008)

“Key World Energy Statistics”
http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/2008/key_stats_2008.pdf

5.2.2 Factores de emisión

Los factores de emisión de CO₂ que corresponden a la quema de combustible dependen del contenido de carbono del tipo de combustible que se utilice. A continuación se presentan los factores de emisión que pueden ser utilizados para el cálculo de emisiones relacionadas con la quema de combustible.

Tabla 8. Factores de Emisión de CO₂ para la combustión de combustibles

CUADRO 1.4 FACTORES DE EMISIÓN DE CO ₂ POR DEFECTO PARA LA COMBUSTIÓN ¹						
Descripción en español del tipo de combustible	Contenido de carbono por defecto (kg/GJ)	Factor de oxidación de carbono por defecto	Factor de emisión de CO ₂ eficaz (kg/TJ) ²			
			Valor por defecto ³	Intervalo de confianza del 95%		
	A	B	$C=A+B+44/12+1000$	Inferior	Superior	
Petróleo crudo	20,0	1	73 300	71 100	75 500	
Orimulsión	21,0	1	77 000	69 300	85 400	
Gas natural licuado	17,5	1	64 200	58 300	70 400	
Gasolina	Gasolina para motores	18,9	1	69 300	67 500	73 000
	Gasolina para la aviación	19,1	1	70 000	67 500	73 000
	Gasolina para motor a reacción	19,1	1	70 000	67 500	73 000
Queroseno para motor a reacción	19,5	1	71 500	69 700	74 400	
Otro queroseno	19,6	1	71 900	70 800	73 700	
Esquisto bituminoso	20,0	1	73 300	67 800	79 200	
Gas/Diesel oil	20,2	1	74 100	72 600	74 800	
Fuelóleo residual	21,1	1	77 400	75 500	78 800	
Gases licuados de petróleo	17,2	1	63 100	61 600	65 600	
Etano	16,8	1	61 600	56 500	68 600	
Nafta	20,0	1	73 300	69 300	76 300	
Alquitrán	22,0	1	80 700	73 000	89 900	
Lubricantes	20,0	1	73 300	71 900	75 200	
Coque de petróleo	26,6	1	97 500	82 900	115 000	
Sustancia para alimentación a procesos de refinerías	20,0	1	73 300	68 900	76 600	
Otro petróleo	Gas de refinería	15,7	1	57 600	48 200	69 000
	Ceras de parafina	20,0	1	73 300	72 200	74 400
	Espíritu blanco y SBP	20,0	1	73 300	72 200	74 400
Otros productos del petróleo	20,0	1	73 300	72 200	74 400	
Antracita	26,8	1	98 300	94 600	101 000	
Carbón de coque	25,8	1	94 600	87 300	101 000	
Otro carbón bituminoso	25,8	1	94 600	89 500	99 700	
Carbón sub-bituminoso	26,2	1	96 100	92 800	100 000	
Lignito	27,6	1	101 000	90 900	115 000	
Esquisto bituminoso y arena impregnada de alquitrán	29,1	1	107 000	90 200	125 000	
Briquetas de carbón de lignito	26,6	1	97 500	87 300	109 000	
Combustible evidente	26,6	1	97 500	87 300	109 000	
Coque	Coque para horno de coque y Coque de lignito	29,2	1	107 000	95 700	119 000
	Coque de gas	29,2	1	107 000	95 700	119 000
Alquitrán de hulla	22,0	1	80 700	68 200	95 300	
Gases derivados	Gas de fábricas de gas	12,1	1	44 400	37 300	54 100
	Gas de horno de coque	12,1	1	44 400	37 300	54 100
	Gas de alto horno ⁴	70,8	1	260 000	219 000	308 000
	Gas de horno de oxígeno para aceros ⁵	49,6	1	182 000	145 000	202 000

CUADRO 1.4 (CONTINUACIÓN)
FACTORES DE EMISIÓN DE CO₂ POR DEFECTO PARA LA COMBUSTIÓN¹

Descripción en español del tipo de combustible	Contenido de carbono por defecto (kg/GJ)	Factor de oxidación de carbono por defecto	Factor de emisión de CO ₂ eficaz (kg/TJ) ²			
			Valor por defecto	Intervalo de confianza del 95%		
	A	B	$C=A*B*44/12*1000$	Inferior	Superior	
Gas natural	15,3	1	56 100	54 300	58 300	
Desechos municipales (fracción no perteneciente a la biomasa)	25,0	1	91 700	73 300	121 000	
Desechos industriales	39,0	1	143 000	110 000	183 000	
Óleo de desecho	20,0	1	73 300	72 200	74 400	
Turba	28,9	1	106 000	100 000	108 000	
Biocombustibles sólidos	Madera/Desechos de madera	30,5	1	112 000	95 000	132 000
	Lejía de sulfito (licor negro) ⁵	26,0	1	95 300	80 700	110 000
	Otra biomasa sólida primaria	27,3	1	100 000	84 700	117 000
	Carbón vegetal	30,5	1	112 000	95 000	132 000
Biocombustibles líquidos	Biogasolina	19,3	1	70 800	59 800	84 300
	Biodiésel	19,3	1	70 800	59 800	84 300
	Otros biocombustibles líquidos	21,7	1	79 600	67 100	95 300
Biomasa gaseosa	Gas de vertedero	14,9	1	54 600	46 200	66 000
	Gas de digestión de lodos cloacales	14,9	1	54 600	46 200	66 000
	Otro biogás	14,9	1	54 600	46 200	66 000
Otros combustibles no fósiles	Desechos municipales (fracción perteneciente a la biomasa)	27,3	1	100 000	84 700	117 000

Notas:

¹ Límites inferior y superior de los intervalos de confianza del 95 por ciento, suponiendo distribuciones lognormales, ajustado a un conjunto de datos, sobre la base de los informes de inventarios nacionales, los datos de la AIE y los datos nacionales disponibles. Se presenta una descripción más detallada en la sección 1.5

² TJ = 1000GJ

³ Los valores del factor de emisión para BFG incluyen el dióxido de carbono contenido originalmente en este gas, así como el creado debido a su quema.

⁴ Los valores del factor de emisión para OSF incluyen el dióxido de carbono contenido originalmente en este gas, así como el que se forma como consecuencia de la quema.

⁵ Incluye el CO₂ derivado de la biomasa emitido desde la unidad de combustión de licor negro y el CO₂ derivado de la biomasa emitido desde el horno de cal de la planta de kraft.

Fuente: (IPCC, 2006)

5.2.3 Cálculo de Emisiones de CO₂ procedentes de la quema de combustible.

La metodología que propone el IPCC, sugiere la siguiente ecuación general para estimar las emisiones de dióxido de carbono emitidas a la atmósfera en Gg de CO₂. Es importante mencionar que las incógnitas que contiene la ecuación deben de ser calculados previamente para obtener las emisiones totales de CO₂.

$$Emisiones\ CO_2 = \sum_{\text{todos los combustibles}} \left[\left((Consumo\ aparente_{\text{combustible}} \cdot Factor\ conv_{\text{combustible}} \cdot CC_{\text{combustible}}) \cdot 10^{-3} \right) - Carbono\ excluido_{\text{combustible}} \cdot FOC_{\text{combustible}} \cdot 44/12 \right] \quad (2)$$

Donde:

Emisiones de CO ₂ =	Emisiones de dióxido de carbono, CO ₂ (Gg CO ₂)
Consumo aparente=	Producción + importaciones – exportaciones – tanques de combustible internacionales – cambio en las existencias
Factor conv. (Factor de conversión) =	Factor de conversión para el combustible en unidades de energía (TJ) sobre una base de valor calórico neto
CC =	Contenido de carbono (tonelada de C/TJ)
FOC (factor de oxidación del carbono) =	Fracción de carbono que se oxida Normalmente el valor es 1, lo que refleja la oxidación completa. Se usan los valores inferiores únicamente para justificar el carbono que queda retenido en forma indefinida en la ceniza o en el hollín
Carbono excluido =	Carbono en la alimentación a procesos y uso no energético excluido del combustible emisiones de la quema (Gg C)
44/12 =	Relación del peso molecular del dióxido de carbono (CO ₂) al carbono (C)

A continuación se presenta una breve descripción de las incógnitas de la ecuación para obtener las emisiones de CO₂ emitidas en la quema de combustibles fósiles:

a) Consumo aparente de combustible:

Para resolver la ecuación general, se debe calcular inicialmente el consumo aparente de combustibles dentro del país. Para poder estimar este parámetro se deben de calcular por separado el consumo aparente de combustibles primarios, los cuales se encuentran en la naturaleza como el carbón, petróleo crudo y gas natural y de los combustibles secundarios o productos del combustible como la gasolina y los lubricantes.

Se debe registrar además el consumo de los combustibles, importados, exportados y los utilizados en el transporte internacional (combustibles de los tanques) y almacenados en las existencias o quitados de allí).

En el volumen de energía de las Directrices se presenta una lista completa de todos los combustibles existentes.¹⁹

$$\text{Consumo aparente}_{\text{combustible}} = \text{Producción}_{\text{combustible}} + \text{Importaciones}_{\text{combustible}} - \text{Exportaciones}_{\text{combustible}} - \text{Tanques internacionales}_{\text{combustible}} - \text{Cambio en las existencias}_{\text{combustible}} \quad (3)$$

b) Conversión a unidades de energía

En las estadísticas sobre energía y en otras compilaciones de datos relativos a la energía, la producción y el consumo de combustibles sólidos, líquidos y gaseosos se especifican en unidades físicas, por ejemplo en toneladas o metros cúbicos. Para convertir estos datos en unidades comunes de energía, p. ej., julios, se requieren valores calóricos. Para convertir toneladas en unidades de energía, en este caso terajulios, se requieren valores calóricos. En las presentes Directrices se utilizan los valores calóricos netos (VCN) expresados en unidades del Sistema Internacional de Unidades (SI) o múltiplos de las unidades de SI (por ejemplo, TJ/Mg). Los VCN por defecto y límites inferior y superior de confianza del 95%²⁰, se pueden consultar en la introducción del volumen de energía.

c) Contenido de carbono

El contenido de carbono del combustible varía considerablemente de un tipo a otro de combustible primario y dentro de cada tipo. Por ejemplo para el gas natural, el contenido de carbono depende de la composición del gas que, en estado entregado, principalmente es metano, pero puede incluir pequeñas cantidades de etano, propano, butano, CO₂ e hidrocarburos más pesados.

Dado que el contenido de carbono varía por tipo de combustible, deben usarse los datos para las categorías detalladas de tipos de combustible y productos. Para un combustible dado, el contenido de carbono específico del país puede variar con el tiempo, en este caso, pueden usarse diferentes valores en distintos años.

d) Carbono excluido

El carbono excluido del consumo de combustible se emite en otro sector del inventario (por ejemplo, como emisión del proceso industrial) o se almacena en un producto manufacturado a partir del combustible.

Los principales flujos de carbono conectados con el cálculo del carbono excluido son aquellos utilizados como alimentación a procesos, reductores o productos no energéticos. La tabla que se presenta a continuación presenta los principales tipos de combustible fósil que deben excluirse del cálculo de emisiones.

¹⁹IPCC (2006)

Definiciones del tipo de combustible utilizado

http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/2_Volume2/V2_1_Ch1_Introduction.pdf

²¹IPCC (2006)

Valores máximos y mínimos del poder calorífico de combustibles, con un 95% de certeza
http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/2_Volume2/V2_1_Ch1_Introduction.pdf

Tabla 9. Principales tipos de combustible fósil que deben excluirse en el cálculo de las emisiones de GEI.

PRODUCTOS USADOS COMO ALIMENTACIÓN A PROCESOS, REDUCTORES Y PARA FINES NO ENERGÉTICOS	
Alimentación a proceso	Nafta
	GLP (butano/propano)
	Gas de refinería
	Gas / diesel oil y queroseno
	Gas natural
	Etano
Reductor	Coque para horno de coque (coque metalúrgico) y coque de petróleo
	Carbón y alquitrán de hulla / brea de alquitrán de hulla
	Gas natural
Productos no energéticos	Alquitrán
	Lubricantes
	Ceras de parafina
	Espíritu blanco

Fuente: IPCC (2006)

Se debe de utilizar la ecuación que se presenta a continuación para estimar la cantidad de carbono que debe excluirse de la estimación de las emisiones de quema de combustible.

$$Carbono\ excluido_{combustible} = Datos\ de\ la\ actividad_{combustible} \cdot CC_{combustible} \cdot 10^{-3} \quad (4)$$

Donde:

Carbono excluido = Carbono excluido de las emisiones procedentes de la quema de combustible (Gg C)

Datos de la actividad = Datos de la actividad (TJ)

CC = Contenido de carbono (tonelada de C/TJ)

5.3 Volumen 3: Procesos industriales y uso de productos (IPPU)

Las emisiones de gases de efecto invernadero son producidas por una gran variedad de actividades industriales. Las principales fuentes de emisión son las descargas provenientes de los procesos industriales que transforman materias por medios químicos o físicos (por ejemplo, los altos hornos de la industria del hierro y el acero, el amoníaco y otros productos químicos fabricados a partir de combustibles fósiles utilizados como sustancia química intermedia y la industria del cemento; los cuales son ejemplos notorios de procesos industriales que liberan cantidades significativas de CO₂). Durante estos procesos puede producirse una gran variedad de gases de efecto invernadero, incluidos el dióxido de carbono (CO₂), el metano (CH₄), el óxido nitroso (N₂O), los hidrofluorocarbonos (HFC) y los perfluorocarbonos (PFC).

Además, con frecuencia se utilizan los gases de efecto invernadero en productos tales como refrigeradores, espumas o latas de aerosol. Por ejemplo, se usan los HFC como alternativa a las sustancias que agotan la capa de ozono en variados tipos de aplicaciones de productos. Análogamente, se emplean el hexafluoruro de azufre (SF₆) y el óxido nitroso (N₂O) en una serie de productos utilizados por la industria (por ejemplo el SF₆ utilizado en las instalaciones eléctricas y el N₂O utilizado como propulsor en los productos de aerosol, principalmente en la industria de la alimentación).

Una característica notable del uso de estos productos es que en casi todos los casos puede transcurrir un tiempo significativo entre la fabricación del producto y la liberación del gas de efecto invernadero. El retardo puede variar desde pocas semanas (p. ej., las latas de aerosol) hasta varios decenios, como es el caso de las espumas rígidas. En el caso de algunas aplicaciones (p. ej., la refrigeración), una fracción de los gases de efecto invernadero utilizados en los productos puede ser recuperada al final del período de vida del producto y ser reciclada o destruida.

Además, varios otros gases de efecto invernadero fluorados pueden ser utilizados en procesos especiales como la fabricación de semiconductores, por ejemplo: trifluoruro de nitrógeno (NF₃), trifluorometil pentafluoruro de azufre (SF₅CF₃) y los éteres halogenados

5.3.1 Fuentes internacionales de datos

Es muy recomendable que se utilicen las fuentes de datos internacionales en todo el proceso de elaboración de inventarios, para poder obtener estimaciones de datos confiables y lógicas. A continuación se presenta una lista de fuentes de datos que se recomiendan en este volumen de las Directrices del IPCC en la elaboración de Inventarios Nacionales de GEI.

- Las estadísticas de producción industrial de las Naciones Unidas (ONU) disponibles en el anuario *Industrial Commodity Statistics Yearbook* (UN, 2004), los datos se expresan en unidades físicas y se dan por producto básico y por país para todos los años y para casi todos los productos básicos pertinentes para los inventarios de emisiones.

-
- La OCDE publica datos de producción en unidades monetarias (valor de producción) para los países de la OCDE²¹, pero los datos para los años más recientes no están disponibles.
 - La fuente de información más útil es la base de datos STAN, (del inglés, *Industry Structural Analysis*)²² publicada por la OCDE, que contiene datos monetarios de producción sobre las mayores industrias hasta el año 2002. Nótese, sin embargo, que el valor monetario refleja no sólo la cantidad de producción, sino también el precio del producto —que puede fluctuar de un año para otro— de modo que los datos deben utilizarse con precaución.
 - Las estadísticas sobre la producción de un gran número de productos básicos y sobre las capacidades de las plantas individuales son proporcionadas por producto básico y por país por el Instituto Geológico de los Estados Unidos (USGS, del inglés, *US Geological Survey*) como parte de las estadísticas del USGS en *International Minerals Statistics and Information*, 2005.

5.3.2 Usos no energéticos de algunos combustibles fósiles.

Como se mencionó anteriormente, algunas emisiones de CO₂ provenientes de los combustibles fósiles se producen debido a usos que no están destinadas originalmente a propósitos energéticos. El uso no energético es generalizado y diverso, y la declaración correcta de sus emisiones es conceptualmente difícil.

Algunos combustibles primarios (carbón, gas natural) y secundarios derivados del carbón o del petróleo crudo pueden no ser utilizados como combustibles. Según el uso, pueden distinguirse tres categorías de usos no energéticos:

1. *Alimentación a procesos*: Combustibles fósiles que se utilizan como materias primas en procesos de conversión química con el fin de fabricar principalmente productos químicos orgánicos y, en menor medida, productos químicos inorgánicos y sus derivados (OECD/IEA/Eurostat, 2004). El uso de hidrocarburos para la alimentación a los procesos de conversión está casi por entero circunscrito a las industrias químicas y petroquímicas.

2. *Agentes reductores*: se utiliza el carbono como agente reductor en la producción de varios metales y de productos inorgánicos. Se utiliza directamente como agente reductor o indirectamente a través de la producción intermedia de electrodos utilizados en la electrólisis. En la mayoría de los casos, sólo muy pequeñas cantidades de carbono son incorporadas al producto fabricado, mientras que la mayor parte se oxida durante el proceso de reducción.

3. *Productos no energéticos*: aparte de los combustibles, las refinerías y también los hornos de coque producen algunos productos no energéticos que son utilizados directamente (p. ej., sin conversión química)

²¹ OCDE (2001) Datos de la producción industrial y del uso productos de la OCDE
http://www.oecd.org/statsportal/0,2639,en_2825_293564_1_1_1_1_1,00.html

²² OCDE (2001) “Análisis Estructural de la Industria “STAN”
<http://hermia.sourceoecd.org/vl=4126925/cl=58/nw=1/rpsv/cw/vhosts/oecdstats/16081307/v265n1/contp1-1.htm>

debido a sus propiedades físicas o diluyentes, o se venden a la industria química como producto químico intermedio. Los lubricantes y las grasas son utilizados en las máquinas debido a sus propiedades lubricantes. Las refinerías producen también espíritus blancos, los cuales son utilizados por sus propiedades como solventes. La tabla 10 muestra los tipos de hidrocarburos utilizados en las tres categorías y las principales aplicaciones.

Tabla 10. Ejemplos de combustibles utilizados aplicaciones no relacionados con energía

TIPOS DE UTILIZACIONES Y EJEMPLOS DE COMBUSTIBLES UTILIZADOS PARA APLICACIONES NO ENERGÉTICAS		
Tipo de utilización	Ejemplo de tipos de combustible	Producto/proceso
Alimentación a procesos	gas natural, aceites, carbón	amoníaco
	nafta, gas natural, etano, propano, butano, diésel, fuelóleo	metanol, olefinas (etileno, propileno), negro de humo
Reductor	coque de petróleo	carburos
	carbón, coque de petróleo	dióxido de titanio
	coque metalúrgico, carbón pulverizado, gas natural	hierro y acero (primario)
	coques metalúrgicos	ferroaleaciones
	coque de petróleo, brea (ánodos)	aluminio ¹
	coque metalúrgico, carbón	plomo
	coque metalúrgico, carbón	zinc
Producto no energético	lubricantes	propiedades lubricantes
	ceras de parafina	miscelánea (p. ej., velas, recubrimientos)
	Alquitrán (asfalto)	Pavimentación de rutas e impermeabilización de techos
	espíritus blancos ² , algunos compuestos aromáticos	como solvente (pinturas, limpiado al seco)

¹ Utilizado también en la producción secundaria del acero (en hornos de arco eléctrico) (véase Capítulo 4.2).

² Conocidos también como trementina mineral, espíritus de petróleo o esencias de petróleo.

Fuente: IPCC (2006).

5.4 Volumen 4: Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra

El cuarto volumen de las Directrices del IPCC para los Inventarios habla acerca de un sector muy importante en las emisiones de GEI a la atmósfera, es decir, el sector de agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra. El uso y la gestión de la tierra tiene su influencia sobre una diversidad de procesos del ecosistema que afectan a los flujos de los gases de efecto invernadero, como se muestra en la figura 5.1; tales como la fotosíntesis, la respiración, la descomposición, la nitrificación/desnitrificación, la fermentación entérica y la combustión. Estos procesos incluyen transformaciones del carbono y del nitrógeno provocadas por los procesos biológicos (actividad de microorganismos, plantas y animales) y físicos (combustión, lixiviación y escurrimiento).

5.4.1 Los gases de efecto invernadero en el sector de la agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra.

Los gases de efecto invernadero que son mayor motivo de preocupación son el CO_2 , el N_2O y el CH_4 . Los flujos de CO_2 entre la atmósfera y los ecosistemas se controlan fundamentalmente por captación, mediante la fotosíntesis de las plantas, y por liberación, a través de la respiración, la descomposición y la combustión de materia orgánica.

Emiten N_2O fundamentalmente los ecosistemas como subproducto de la nitrificación y la desnitrificación, mientras que se emite el CH_4 mediante metanogénesis en condiciones anaeróbicas en suelos y depósitos de estiércol, a través de la fermentación entérica y durante la combustión incompleta durante el quemado de materia orgánica.

Otros gases que resultan de interés (de la combustión y de los suelos) son: óxidos de nitrógenos (NO_x), amoníaco (NH_3), compuestos orgánicos volátiles distintos del metano (COVDM) y monóxido de carbono (CO), porque son precursores de la formación de gases de efecto invernadero en la atmósfera.

La formación de gases de efecto invernadero a partir de gases precursores se considera una emisión indirecta. Las emisiones indirectas se asocian también con la lixiviación o el escurrimiento de compuestos de nitrógeno, en particular las pérdidas de nitratos (NO_3^-) de los suelos, algunos de los cuales pueden, después, convertirse en óxido nitroso (N_2O) por desnitrificación, tal y como se muestra en la figura a continuación.

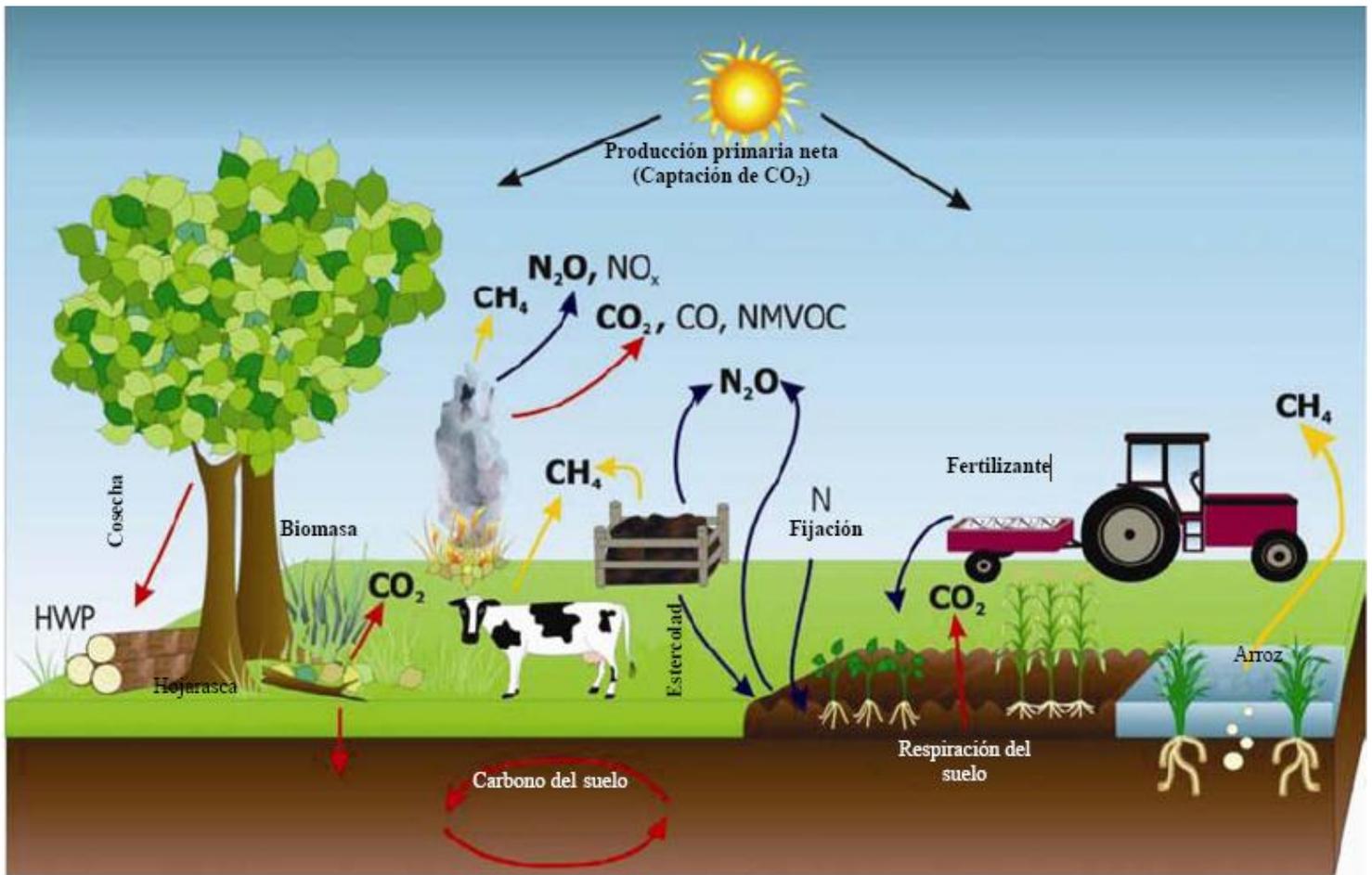


Figura 5.1 Principales fuentes de emisión/absorciones de gases de efecto invernadero y procesos en ecosistemas gestionados.

Fuente: IPCC (2006).

5.4.2 Procesos de emisión y absorción

Los flujos de gas de efecto invernadero en el sector de la agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra, pueden estimarse de dos maneras: como cambios netos en las existencias de carbono a medida que transcurre el tiempo (lo que se emplea para la mayoría de los flujos de CO₂) y directamente como caudales de flujo de gas hacia y desde la atmósfera (lo que se utiliza para estimar las emisiones de no-CO₂ y algunas emisiones y absorciones de CO₂).

La utilización de los cambios en las existencias de C para estimar las emisiones y absorciones de CO₂ se basa en el hecho de que los cambios en las existencias de C del ecosistema se producen, en su mayoría (aunque no exclusivamente) a través del intercambio de CO₂ entre la superficie terrestre y la atmósfera (es decir que los demás procesos de transferencia de C, como la lixiviación, se consideran insignificantes).

En consecuencia, los incrementos en las existencias totales de C con el correr del tiempo se equiparan con la absorción neta de CO₂ de la atmósfera, mientras que las reducciones en las existencias totales de C (a las

que se restan las transferencias a otros depósitos, como los de productos de madera recolectada) se equiparan con la emisión neta de CO₂. Las emisiones de no-CO₂ son, en su mayor parte, producto de procesos microbiológicos (p. ej. en el suelo, las vías digestivas animales y el estiércol) y de la combustión de materiales orgánicos. A continuación, se describen los procesos de emisión y absorción del Sector de agricultura, silvicultura y otros usos de tierra (AFOLU, por sus siglas en inglés) para las existencias y procesos de los principales ecosistemas, organizados por sus componentes, a saber: biomasa, materia orgánica muerta, suelos, tierras y ganado.

a) Biomasa.

La biomasa vegetal, incluyendo sus partes aéreas y subterráneas, constituye el principal medio de absorción de CO₂ de la atmósfera. Hay grandes cantidades de CO₂ que se transfieren entre la atmósfera y los ecosistemas terrestres, fundamentalmente a través de la fotosíntesis y de la respiración.

b) Materia orgánica muerta

En algún momento, la mayor parte de la biomasa contenida en el material vegetal vivo se transfiere a depósitos de materia orgánica muerta (DOM, del inglés). Parte de la materia orgánica muerta, se descompone rápidamente y devuelve el carbono a la atmósfera, pero hay una parte retenida durante meses hasta años o décadas. El uso y el manejo de las tierras repercuten sobre las existencias de carbono en la materia orgánica muerta al tener su efecto sobre la velocidad de descomposición y sobre el ingreso de detrito fresco. Las pérdidas debidas al quemado de materia orgánica muerta incluyen emisiones de CO₂, N₂O, CH₄, NO_x, COVDM y CO.

c) Suelos

A medida que se fragmenta y se descompone, la materia orgánica muerta se transforma en materia orgánica del suelo (SOM, del inglés). Ésta incluye una gran variedad de materiales que difieren significativamente en cuanto a su tiempo de permanencia en el suelo. Parte de este material está integrado por compuestos inestables que los organismos microbianos descomponen fácilmente, y devuelven el carbono a la atmósfera.

Sin embargo, parte del carbono orgánico del suelo se convierte en compuestos recalcitrantes (por ejemplo, complejos organominerales) que se descomponen muy lentamente y que, por ende, pueden permanecer en el suelo durante décadas, siglos o más tiempo. Después de los incendios, se producen pequeñas cantidades del llamado «carbono negro», que constituyen una fracción de carbono casi inerte con tiempos de rotación que pueden extenderse hasta milenios. En general, los cambios en las existencias de carbono inducidos por el manejo se manifiestan una vez transcurrido un período de varios años o de unas pocas décadas, hasta que las existencias de carbono del suelo alcanzan un nuevo equilibrio. Además de la influencia de las actividades humanas, la variabilidad del clima y otros factores ambientales afectan la dinámica del C en el suelo.

En condiciones de inundación, como en los humedales y en la producción de arroz bajo fangueo, hay una fracción significativa de materia orgánica muerta en descomposición y de materia orgánica del suelo que se

devuelve a la atmósfera en forma de CH_4 . Puede constituir una fuente importante de emisiones en países con una cantidad considerable de tierra dedicada a la producción de arroz bajo fangueo. Aunque virtualmente todos los suelos inundados emiten metano, las existencias netas de C en el suelo pueden incrementarse, reducirse o permanecer constantes con el tiempo, según los controles de manejo y ambientales que se ejerzan sobre el balance general de carbono. En los suelos bien drenados, las bacterias metanotróficas consumen (oxidan) pequeñas cantidades de CH_4 .

Hay ciertas prácticas en el manejo del suelo que tienen un impacto sobre las emisiones de gases de efecto invernadero que va más allá de un simple cambio en las existencias de C. Por ejemplo, el encalado se emplea para reducir la acidez del suelo y mejorar la productividad de las plantas, pero es también una fuente directa de emisiones de CO_2 . Específicamente, el encalado transfiere C de la corteza de la tierra a la atmósfera cuando se elimina el carbonato de calcio de los depósitos de piedra caliza y de dolomita y se aplica a los suelos en los que el ión carbonato evoluciona a CO_2 .

El agregado de nitrógeno es práctica común para incrementar los rendimientos de los cultivos, incluidos la aplicación de fertilizantes sintéticos de N y abono orgánico (por ejemplo, estiércol), particularmente en tierras de cultivo y pastizales. Este incremento en la disponibilidad de N del suelo aumenta las emisiones de N_2O de los suelos como subproducto de la nitrificación y la desnitrificación. Los agregados de nitrógeno (en estiércol y orina) por parte de los animales de pastoreo también estimula las emisiones de N_2O . De manera similar, los cambios de uso de la tierra realzan las emisiones de N_2O si están asociados con una elevada descomposición de la materia orgánica del suelo y con la subsiguiente desmineralización del nitrógeno, como sucede cuando se inician cultivos en humedales, bosques o pastizales.

Con el conocimiento científico de que se dispone actualmente, es posible suministrar métodos para estimar las emisiones de CO_2 y de N_2O relacionadas con el manejo de tierras de turba y de CO_2 resultantes de la conversión en humedales mediante inundación.

d) Ganado

Los sistemas de producción animal, y en particular los de rumiantes, pueden constituir fuentes significativas de emisiones de gases de efecto invernadero. Por ejemplo, la fermentación entérica que se produce en los sistemas digestivos de los rumiantes lleva a la producción y emisión de CH_4 . Las decisiones de gestión tomadas respecto de la eliminación y el almacenamiento de estiércol afectan a las emisiones de CH_4 y de N_2O , los que se forman durante la descomposición del estiércol como subproductos de la metanogénesis y de la nitrificación/desnitrificación, respectivamente. Más aun, las pérdidas por volatilización de NH_3 y NO_x de los sistemas de gestión del estiércol y de los suelos conducen a emisiones indirectas de gases de efecto invernadero.

5.5 Volumen 5 Desechos

El volumen sobre Desechos trata información relacionada con las emisiones de dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O) procedentes de los desechos de un país. Las emisiones de metano (CH₄) relacionadas con los sitios de eliminación de residuos sólidos, son la mayor fuente de emisiones de gases de efecto invernadero del Sector Desechos. Las emisiones de CH₄ procedentes del tratamiento y la eliminación de aguas residuales pueden ser importantes también.

La incineración y la incineración abierta de desechos que contienen carbono fósil; los plásticos son las más importantes fuentes de emisiones de CO₂ del Sector Desechos.

Todas las emisiones de gases de efecto invernadero procedentes de la conversión de desechos en energía, donde el material de desecho se usa directamente como combustible o se convierte en combustible, deben estimarse y declararse dentro del Sector Energía. Los sitios de eliminación de residuos sólidos, el tratamiento de aguas residuales y la incineración de desechos no fósiles producen también CO₂, pero éste es de origen biogénico y, por lo tanto, no se incluye como elemento a declarar en este sector.

En el Sector Energía, las emisiones de CO₂ que provienen de la combustión de los materiales biogénicos, incluido el CO₂ procedente de las aplicaciones de conversión de desechos en energía, se declaran a título de elemento informativo. El óxido nitroso se produce en la mayoría de los tratamientos abordados en el volumen Desechos. La importancia de las emisiones de N₂O varía mucho según el tipo de tratamiento y las condiciones existentes durante el tratamiento.

Los desechos y el tratamiento y la eliminación de aguas residuales pueden producir también emisiones de compuestos orgánicos volátiles diferentes del metano (COVDM), óxidos de nitrógeno (NO_x) y monóxido de carbono (CO), así como amoníaco (NH₃).

Las emisiones de NO_x y NH₃ procedentes del Sector Desechos pueden provocar emisiones indirectas de N₂O. Los NO_x se producen principalmente durante la incineración de desechos, mientras que el NH₃, durante la preparación de abono orgánico. Es probable que las emisiones indirectas de N₂O procedentes del Sector Desechos sean globalmente insignificantes. Sin embargo, si se dispone de estimaciones de las emisiones de NO_x y NH₃, es recomendable estimar las emisiones indirectas de N₂O para realizar declaraciones exhaustivas.

Capítulo 6. Contexto de los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero

Como es mencionado en la sección de Antecedentes del presente trabajo de tesis, México fue uno de los 155 países preliminares que firmó el Tratado sobre Cambio Climático que dio inicio a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC), y en el año de 1993 el Senado de la República ratificó su participación en este.

En congruencia con lo anterior, México presentó su Primera Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático en 1997, tres años después de que este instrumento entrara en vigor para el país. De lo más importante de este informe fue el Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (INEGEI) para el año de 1990 y también los resultados de los primeros estudios sobre la vulnerabilidad del país al cambio climático.

La segunda Comunicación Nacional de México sobre el Cambio Climático se presentó a la UNFCCC en 2001. Ésta incluyó la actualización del INEGEI para el periodo 1994-1998; las cifras de uso de suelo, cambio de uso de suelo y silvicultura (USCUSS) se informaron sólo para 1996; además se incluyeron escenarios de emisiones futuras.

La Tercera Comunicación Nacional ante la UNFCCC presenta la actualización del Inventario Nacional al 2002, se calcularon nuevamente las cifras para los años 1990, 1992, 1996, 1998, 2002 y 2002. Este documento, además de dar cumplimiento a los compromisos asumidos por el país ante la Convención, es un instrumento de gran utilidad para fijar las políticas y estrategias nacionales en materia de cambio climático y refleja una más amplia participación de los tres órdenes de gobierno, los sectores productivos nacionales y el sector social mexicano en el avance de las medidas para estudiar, mitigar y adaptarse al fenómeno global del cambio climático.²³

6.1 Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (INEGEI) 1990-2002

El Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (INEGEI) comprende las estimaciones de las emisiones por fuente y sumidero para el periodo 1990-2002. Se realiza conforme a lo establecido en los artículos 4 y 12 de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC) y las Directrices sobre comunicaciones nacionales de las Partes no-Anexo I de la UNFCCC, que señalan que las Partes no-Anexo I deben incluir información de un inventario nacional de las emisiones antropogénicas por las fuentes y la absorción por los sumideros de todos los gases de efecto invernadero (GEI) no controlados por el Protocolo de Montreal, en la medida que lo permitan sus posibilidades, utilizando para su preparación las metodologías comparables que promueve y aprueba la Conferencia de las Partes.²⁴

²³ INE – SEMARNAT (2006). México, Tercera Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, (Resumen Ejecutivo, página 26).

²⁴ UNFCCC. (2004). "Informando sobre cambio climático. Manual del usuario para las directrices sobre comunicaciones nacionales de las Partes no-Anexo I de la CMNUCC". Climate Change Secretariat, Alemania. Pág. 1.

Los cálculos de emisiones de GEI aquí informados, se realizaron para las seis categorías de emisión definidas por el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC): Energía [1], Procesos Industriales [2], Solventes [3], Agricultura [4] y Desechos [6].

6.1.1 Proceso de preparación del INEGEI.

Según la Tercera Comunicación Nacional ante la UNFCCC, la preparación del INEGEI 1990-2002, se realizó en cinco fases: inicio, desarrollo, compilación, generación de informe y revisión y publicación, a continuación se presentan las tres fases más relevantes, es decir, 1) inicio, 2) desarrollo y 3) generación del informe.

1) Inicio: En esta fase se convocaron a los coordinadores y expertos que dirigieron la elaboración del inventario, también se presentó un programa de trabajo. Se establecieron las fuentes de datos así como los requerimientos de información de actividad a entidades relevantes. Finalmente, se revisaron las metodologías a emplear en la estimación de las emisiones de la categoría de emisión correspondiente. En la siguiente figura, se presentan las instituciones mexicanas que se encargaron de analizar las emisiones de GEI por cada sector o categoría de emisión; la SEMARNAT es quien preside la Comisión Intersecretarial de Cambio Climático (CICC) y el INE es coordinador del INEGEI.

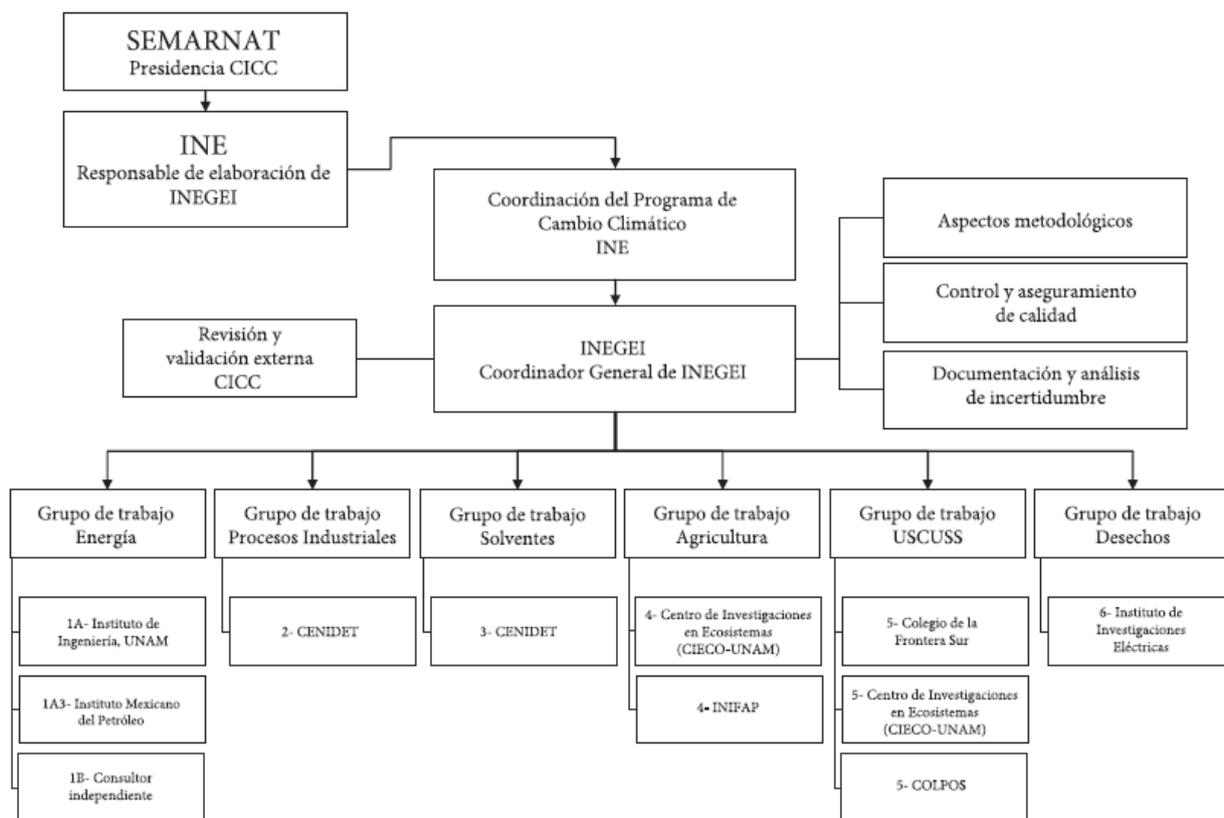


Figura 6.1 Instituciones mexicanas encargadas de la elaboración del INEGEI del 2002.

SEMARNAT-INE (2006).

2) *Desarrollo*: en un periodo de aproximadamente seis meses se recopiló la información para cada categoría o sector de emisión, se registraron en las hojas de cálculo los datos y la información obtenida, se estimaron las emisiones y se preparó, por parte del experto del sector, un informe con las estimaciones, así como el análisis realizado y las fuentes de información consultadas.

3) *Generación del informe*: Con base en lo presentado por cada experto, se integró el informe final del inventario según el formato preparado previamente.

6.1.2 Panorama General al año 2002.

Las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), se estimaron en 643,183 Gg, en bióxido de carbono equivalente (CO₂ e) en el año 2002.

Comparando los resultados del INEGEI de 1990 y el más reciente INEGEI en 2002, se puede observar que el crecimiento de las emisiones de los sectores, en unidades de dióxido de carbono equivalentes (CO₂ e), con excepción de Uso de Suelo, Cambio de Uso de Suelo y Silvicultura (USCUSS) fue de aproximadamente 30%, lo que significa un crecimiento promedio anual de 2.2%.

Las emisiones de GEI por gas en CO₂ e se desagregan de la manera siguiente: El dióxido de carbono representa el 74% del total de las emisiones con 480,409 Gg, con respecto al metano (CH₄), éste constituye el 23% de las emisiones con 145,586 Gg, el óxido nitroso (N₂O) el 2% con un total de 12,343 Gg, y el 1% restante se compone de 4,425 Gg de hidrofluorocarbonos (HFC); 405 Gg de perfluorocarbonos (PFC); y 15 Gg de hexafluoruro de azufre (SF₆).

La contribución de las emisiones de los GEI de las diferentes categorías en términos de CO₂ e, es la siguiente:

- **Generación de energía.**

La categoría Energía, que es la más importante en los inventarios nacionales de GEI de México, se subdivide en consumo de combustibles fósiles y en emisiones fugitivas de metano, como se muestra a continuación:

Consumo de Combustibles Fósiles	Emisiones fugitivas de metano
Generación de energía	Por el minado y manipulación del carbón
Manufactura e industria de la construcción	Por las actividades del petróleo y gas natural
Transporte	
Otros (Comercial, residencial y agricultura)	

La generación de energía representa el 24% de las emisiones totales del país, el transporte 18%, el consumo de combustibles fósiles para la manufactura y la industria de la construcción 8%, los sectores residencial,

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

En 2002, las emisiones de GEI para esta categoría, expresadas en unidades de CO₂ e, registraron un aumento de 25% con respecto al año base (1990), es decir pasaron de 312,027 Gg a 389,497 Gg; sin embargo, su contribución al volumen total de emisiones disminuyó en un 4% en el mismo periodo, como se observa en la tabla 11. En 2002, el CO₂ contribuyó con 89%, el CH₄ con 10% y el N₂O con 1% de las emisiones de GEI de la categoría de Energía (Tabla 11 y 12).

Tabla 11. Emisiones de GEI de la categoría Energía (Gg).

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

SEMARNAT-INE (2006).

Tabla 12. Emisiones de GEI de la Categoría de Energía por tipo de Gas en CO₂ e.

GAS	1990	1992	1994	1996	1998	2000	2002
CO ₂	276,490	287,518	305,152	307,889	349,233	353,868	346,361
CH ₄	34,371	33,086	36,280	39,964	43,005	42,605	40,634
N ₂ O	1,166	1,232	1,467	1,578	1,891	2,155	2,501
Total	312,027	321,836	342,900	349,431	394,129	398,627	389,497

SEMARNAT-INE (2006).

- **Procesos Industriales.**

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

Las emisiones de los gases fluorados muestran un importante aumento en el periodo 1992 a 2002, por un mayor uso de HFC en refrigeradores y sistemas de aire acondicionado en industrias, viviendas y automóviles; estos gases fluorados sustituyen a algunos de los clorofluorocarbonos (CFC) controlados por el Protocolo de Montreal, cuyo uso está restringido en el mundo.

- **Solventes.**

Las emisiones totales de Compuestos Orgánicos Volátiles Distintos al Metano (COVDM) en 2002 fueron de 220.5 Gg, y su principal fuente son los solventes. Dichas emisiones registraron un aumento de 84% de 1990 a 2002.

- **Agricultura.**

Para el periodo comprendido entre los años 1990-2002, las emisiones de CH₄ representaron 84% de la categoría y las de N₂O 16%. Se aprecia una disminución en las emisiones de esta categoría, de 47,427 a 46,146 Gg, que posiblemente se deba a la importación de granos básicos como el arroz y por el estancamiento del sector pecuario en el país.

- **Uso del Suelo, Cambio de Uso de Suelo y Silvicultura (USCUSS) (Preliminar).**

Las emisiones estimadas corresponden a promedios anuales de GEI para el periodo de 1993 a 2002, que en unidades CO₂ e, fueron de 89,854 Gg. En términos de CO₂ la categoría USCUSS aporta un total de emisiones de 86,877 Gg en 2002.

Estas emisiones son el resultado del balance entre 64,484 Gg provenientes de la combustión y descomposición de biomasa aérea asociada con los procesos de conversión de bosques a otros usos; más 30,344 Gg de emisiones derivadas de suelos minerales y áreas agrícolas; más 4,932 Gg por emisión en bosques manejados, menos la captura de 12,883 Gg en tierras abandonadas.

- **Desechos.**

Las emisiones de GEI en el 2002, en CO₂ eq, fueron de 65,584 Gg, mientras que en 1990 se emitieron 33,357 Gg. Se observa un incremento de 96% de 1990 a 2002, como resultado del aumento en la disposición de residuos sólidos en rellenos sanitarios y del impulso dado en la última década al tratamiento de las aguas residuales industriales y municipales; dentro de este porcentaje también se incluye el cambio registrado en las emisiones por incineración de residuos peligrosos, cuyo valor se multiplicó por 30 entre 1990 y 2002, pero su contribución al total en este último año es menor al 0.5%.

A continuación se representa gráficamente en la figura 6.2, la contribución de las emisiones de los GEI de las diferentes categorías en términos de CO₂ e anteriormente expuestas.

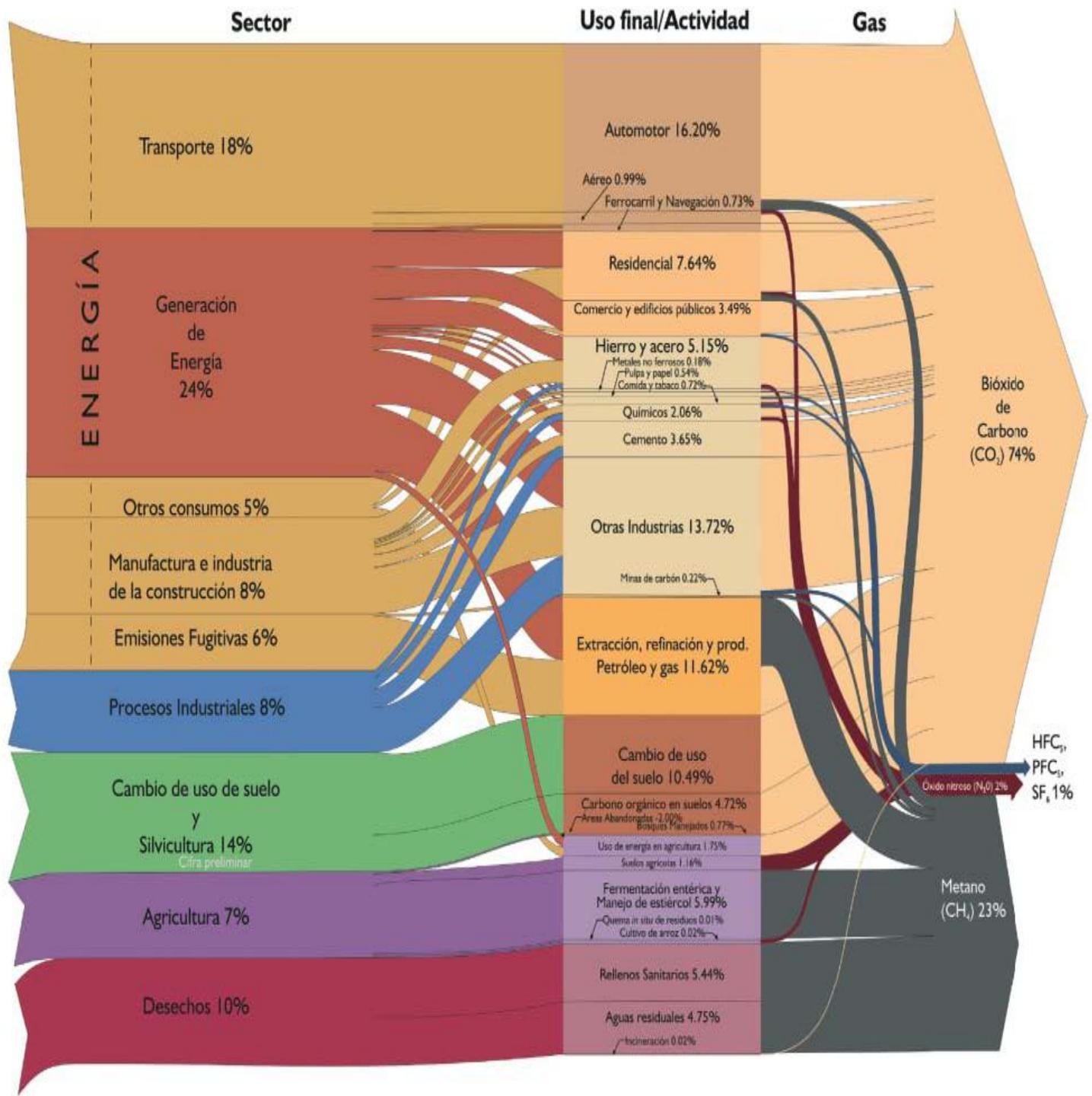


Figura 6.2 Diagrama de emisiones de GEI para México.

Fuente: (WRI, 2005).

6.2 Situación internacional de emisiones de GEI en México

Para analizar los resultados que la SEMARNAT y el INE obtuvieron en el INEGEI y de mostrar la ubicación de México con respecto a otros países del mundo, se realizaron comparaciones del INEGEI 1990-2002 con datos de emisiones de CO₂ por quema de combustibles fósiles estimados por la Agencia Internacional de Energía (IEA, por sus siglas en inglés).

Las emisiones globales de CO₂ generadas por la quema de combustibles fósiles fueron de 24,221.63 millones de toneladas en el año 2003, según lo estima la IEA.

La tabla 13 muestra un listado de 55 países que en conjunto emiten el 95% de las emisiones mundiales de CO₂ generadas por la quema de combustibles fósiles. De acuerdo con las cifras reportadas por la IEA para el 2003, México ocupa el lugar 12 a nivel mundial en las emisiones de CO₂ por quema de combustibles fósiles, con un total de 374.25 millones de toneladas de CO₂ o el 1.5% de las emisiones globales.

Tabla 13. Países que representan el 95% de las emisiones de CO₂ e generadas en la quema de combustibles fósiles

						24,221.63		49,315.00	6,268		0.741
País						Emisiones CO ₂ (quema combustibles fósiles)	Contribución a emisiones globales	PIB (PPP)	Población	PIB per capita (PPP)	Índice de Desarrollo Humano (IDH) 2003
						(Mt de CO ₂)	(%)	(milesde millones 2000\$)	(millones)	(2000\$)	
	AI	NAI	LAC	G8+5	OCDE						
1	Estados Unidos					5728.53	23.650%	10,330.00	291.1	35,487.31	0.944
2	China					3719.44	15.356%	6,089.51	1,288.4	4,726.41	0.755
3	Rusia					1526.75	6.303%	1,250.62	143.4	8,719.38	0.795
4	Japón					1201.37	4.960%	3,399.28	127.6	26,635.95	0.943
5	India					1049.72	4.334%	2,907.78	1,064.4	2,731.85	0.602
6	Alemania					854.29	3.527%	2,085.37	82.5	25,271.09	0.930
7	Canadá					553.29	2.284%	923.61	31.6	29,200.44	0.949
8	Reino Unido					540.25	2.230%	1,599.95	59.4	26,944.26	0.939
9	Italia					453.36	1.872%	1,478.66	58.1	25,450.26	0.934
10	Corea del Sur					448.37	1.851%	879.97	47.9	18,359.48	0.901
11	Francia					389.55	1.608%	1,610.89	61.5	26,176.31	0.938
12	México					374.25	1.545%	914.92	102.7	8,907.80	0.814
13	República Islámica de Irán					348.94	1.441%	438.71	66.4	6,608.07	0.736
14	Australia					347.13	1.433%	566.18	20.0	28,294.85	0.955
15	Indonesia					318.08	1.313%	681.63	214.7	3,175.25	0.697
16	Sudáfrica					317.97	1.313%	447.91	45.8	9,773.29	0.658
17	España					313.24	1.293%	886.19	40.8	21,715.02	0.928
18	Arabia Saudita					306.46	1.265%	281.49	22.5	12,494.01	0.772
19	Brasil					302.85	1.250%	1,299.66	176.6	7,359.34	0.792
20	Ucrania					296.79	1.225%	250.85	48.4	5,187.14	0.766
21	Polonia					293.25	1.211%	423.03	38.2	11,074.08	0.858
22	Taipei (China)					245.21	1.012%	458.53	22.6	20,279.96	NE
23	Turquía					202.87	0.838%	485.73	70.8	6,860.59	0.750
24	Tailandia					188.39	0.778%	444.94	62.0	7,175.29	0.778
25	Holanda					184.69	0.763%	439.95	16.2	27,123.92	0.943
26	Kazajstán					152.18	0.628%	93.76	14.9	6,301.08	0.761
27	Argentina					123.57	0.510%	420.53	36.8	11,436.77	0.863
28	Malasia					122.80	0.507%	222.63	24.8	8,987.89	0.796
29	Egipto					122.22	0.505%	252.09	67.6	3,731.35	0.659
30	Uzbekistán					120.84	0.499%	42.17	25.6	1,647.91	0.694
31	Venezuela					120.21	0.496%	119.29	25.7	4,647.06	0.772
32	Bélgica					120.07	0.496%	276.92	10.4	26,703.95	0.945
33	República Checa					116.98	0.483%	161.73	10.2	15,855.88	0.874
34	Pakistán					103.45	0.427%	294.04	148.4	1,980.87	0.527
35	Emiratos Arabes Unidos					96.11	0.397%	74.68	4.0	18,485.15	0.849
36	Rumania					94.69	0.391%	149.48	21.7	6,875.80	0.792
37	Grecia					94.10	0.388%	200.77	11.0	18,285.06	0.912
38	Algeria					77.69	0.321%	183.64	31.8	5,769.40	0.722
39	Austria					74.70	0.308%	236.32	8.1	29,175.31	0.936
40	Finlandia					72.61	0.300%	140.20	5.2	26,909.79	0.941
41	Filipinas					70.49	0.291%	332.71	81.5	4,082.33	0.758
42	Irak					68.82	0.284%	22.12	24.7	895.55	NE
43	República Democrática Popular de Corea (Corea del Norte)					68.78	0.284%	30.78	22.6	1,361.34	NE
44	Israel					61.59	0.254%	126.57	6.7	18,919.28	0.915
45	Vietnam					60.64	0.250%	191.30	81.3	2,352.72	0.704
46	Portugal					58.93	0.243%	179.08	10.4	17,153.26	0.904
47	Kuwait					58.35	0.241%	40.86	2.4	17,025.00	0.844
48	Bielorusia					58.07	0.240%	56.50	9.9	5,718.62	0.786
49	Hungría					57.73	0.238%	135.92	10.1	13,417.57	0.862
50	Dinamarca					56.21	0.232%	156.75	5.4	29,081.63	0.941
51	Colombia					56.05	0.231%	282.27	44.6	6,331.76	0.785
52	Suecia					53.60	0.221%	249.71	9.0	27,869.42	0.949
53	Chile					52.93	0.219%	153.10	15.8	9,708.31	0.854
54	Nigeria					49.62	0.205%	135.32	136.5	991.65	0.453
55	Serbia and Montenegro					49.47	0.204%	20.30	8.1	2,506.17	NE

Fuente: IEA, 2005. "Key World Energy Statistics".

La figura 6.3 muestra una comparación de las emisiones per cápita de CO₂ y el PIB per cápita de un grupo de 37 de los 55 países mostrados en el cuadro anterior.

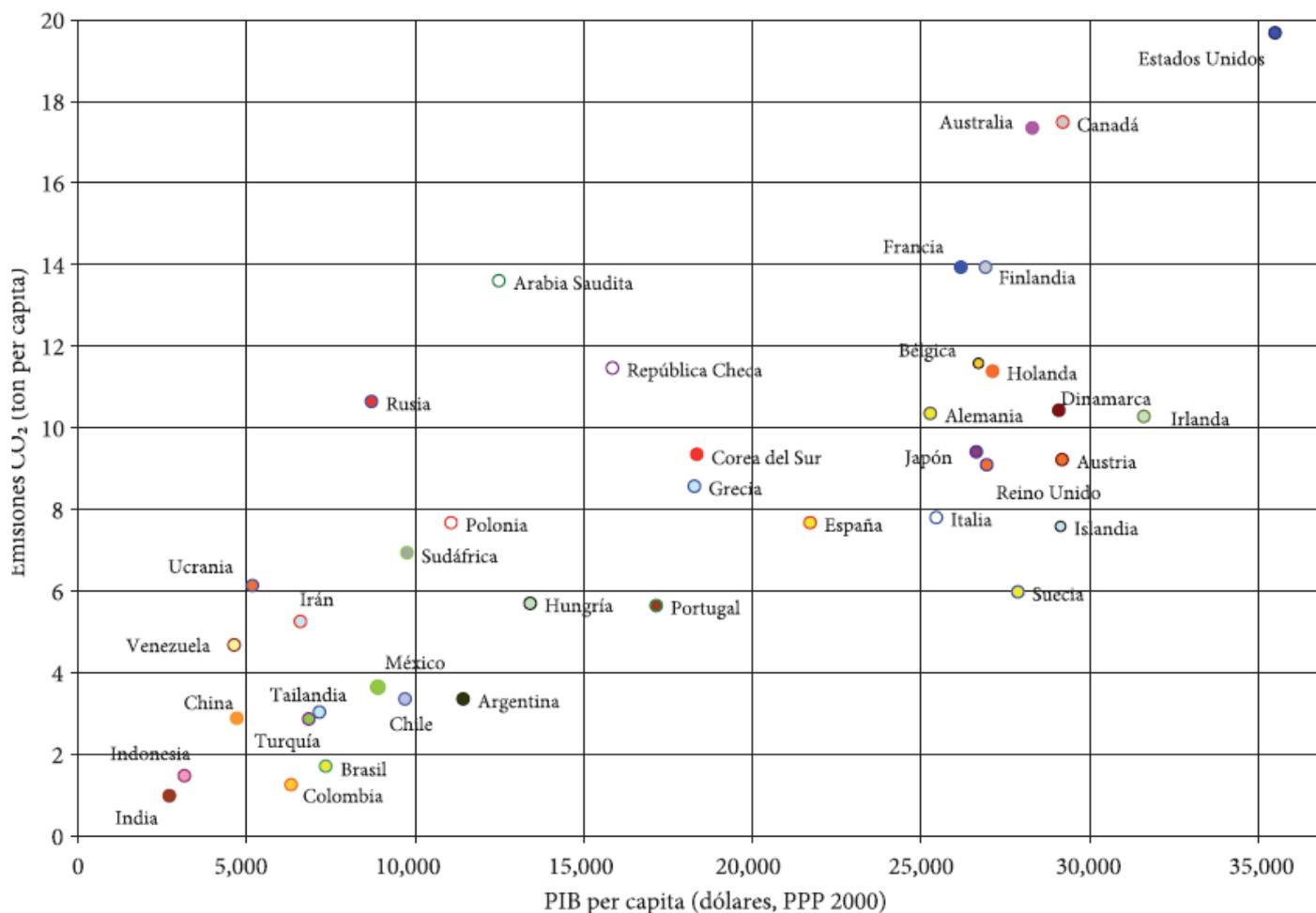


Figura 6.3 Comparación internacional de emisiones de CO₂ per cápita v.s. PIB per cápita, 2003.

Fuente: UNDP (2005).

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

Reducir las emisiones nacionales de GEI es un desafío ambiental y económico para el país, pues a pesar de no ser un país anexo 1 y que no se le considera un país altamente emisor de GEI y que no tiene el compromiso de reducir sus emisiones de GEI, seguramente en un futuro muy próximo y por la tendencia global de emisiones de GEI, también los países en desarrollo deberán reducir sus emisiones. Las medidas de mitigación que se lleven a cabo ofrecen buenas oportunidades para la modernización y transformación de los sectores energéticos, transporte, industrial y económico del país.

Cabe señalar que la SEMARNAT publicó el Programa Especial de Cambio Climático con (2008-2012), en este documento México se compromete a reducir progresivamente sus emisiones a partir de 2008, para lograr en 2012 una reducción de 51MtCO₂e con respecto al escenario tendencial que, ese año, totalizaría 786 MtCO₂e en ausencia del PECC. Esto será posible mediante acciones desarrolladas en los sectores de generación y uso de energía, agricultura, bosques, otros usos del suelo y desechos. El PECC se alinea con la reforma energética realizada durante la presente administración, particularmente con el capítulo de transición a fuentes sustentables de energía, el cual prevé financiar medidas de mediano y largo plazos.

6.3 Vulnerabilidad

“México, por su ubicación geográfica, topografía y aspectos socioeconómicos, es especialmente vulnerable a los impactos de la variabilidad y el cambio climático”.²⁵

Los fenómenos El Niño Y La Niña, así como condiciones hidrometeorológicas extremas, han resultado en graves daños y desastres en diversos sectores socioeconómicos del país y en todo el mundo. Con base en resultados de los escenarios climáticos, generados con Modelos de Circulación General (MCG) bajo escenarios de emisión A2 y B2, se llegó a las siguientes conclusiones:

- Es muy probable que el clima de México sea más cálido para el 2020, 2050 y 2080, principalmente en el norte del país.
- Se proyectan disminuciones en la lluvia, así como cambios en su distribución temporal, con respecto al escenario base de 1961-1990. Por ejemplo, se esperan reducciones de hasta 15% en regiones del centro y de menos de 5% en la vertiente del Golfo de México, principalmente entre enero y mayo.
- El ciclo hidrológico se volverá más intenso, por lo que aumentará el número de tormentas severas y la intensidad de los periodos de sequía. Se realizó un compendio sobre los impactos por inundaciones en los sectores socioeconómicos del estado de Veracruz, mostrando que los costos de alterar el ciclo hidrológico son altos.
- Las componentes del ciclo hidrológico indican que en México cerca de 75% de la precipitación se evapotranspira y 5% recarga los acuíferos. El balance hídrico sugiere que el aumento en temperatura hará que la evapotranspiración se incremente y que la humedad en el suelo disminuya. Las evaluaciones del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (PICC) indican que México puede experimentar una disminución significativa en el escurrimiento, del orden del 10 al 20% a nivel nacional, y mayor al 40% en los humedales costeros del Golfo.
- En el caso de los fenómenos extremos como los frentes fríos (nortes), es posible que éstos se vuelvan menos frecuentes. Es incierto en qué medida dicha disminución podría afectar las precipitaciones, pero de acuerdo con ciertos escenarios, éstas tenderán a disminuir principalmente en la vertiente del Golfo de México.

²⁵ INE – SEMARNAT (2006). México, Tercera Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. (Página 37).

-
- La temperatura de la superficie del mar en el Caribe, Golfo de México y Pacífico Mexicano podría aumentar entre 1 y 2°C. Con base en consideraciones físicas, incrementos en la temperatura del mar aumentan la eficiencia de los ciclones tropicales, favoreciendo las probabilidades de que éstos alcancen categorías mayores en la escala Saffir-Simpson.

A partir del 2020, los mayores incrementos de temperatura se darán bajo el escenario A2 en comparación con el B2, debido principalmente a la diferencia en emisiones de GEI entre ambos escenarios, ver escenarios en Anexo 1.

6.4 Adaptación

A continuación se presentan las medidas de adaptación que se establecieron en la Tercera Comunicación de México ante las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.²⁶

6.4.1 Medidas de adaptación en el sector agua

Mediante reformas administrativas y financieras así como por la modificación de las políticas y técnicas de gestión del agua, las autoridades están tratando de garantizar los servicios prestados y la preservación del medio ambiente.

Sus objetivos incluyen:

- Fomentar el uso eficiente del agua en la producción agrícola.
- Fomentar la ampliación de la cobertura y calidad de los servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento.
- Lograr el manejo integral y sustentable del agua en cuencas y acuíferos.
- Promover el desarrollo técnico, administrativo y financiero del sector hidráulico.
- Consolidar la participación de los usuarios y la sociedad organizada en el manejo del agua y promover la cultura de su buen uso.
- Disminuir los riesgos y atender los efectos de inundaciones y sequías.

6.4.2 Medidas de adaptación en el sector agrícola

Estudios recientes han evaluado las condiciones socioeconómicas y climáticas que determinan la vulnerabilidad y adaptación actual de los productores de maíz de temporal en el estado de Tlaxcala, y se han aplicado escenarios de cambio climático para proyectar la vulnerabilidad futura y proponer las siguientes estrategias de adaptación.

- Aplicación de riego por goteo, en lugares en donde se presenten lluvias irregulares y sequías

²⁶ INE – SEMARNAT (2006). México, Tercera Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Resumen ejecutivo (Página 88).

-
- Construcción de pequeños invernaderos con cultivos orgánicos de jitomate, tomate y chile, en lugares de clima frío o en climas cambiantes.
 - El desarrollo y utilización de composta en parcelas.

6.4.3 Medidas de adaptación en el sector de bosques

- Reducción de la tasa de deforestación igual a la media nacional que es de 0.64%, menos drástica que la actual en Tlaxcala.
- Disminuir los incendios forestales a una proporción de sólo el 0.01% anual de la superficie boscosa.

6.4.4 Medidas de adaptación en zonas costeras

- Implementar un reglamento de construcciones adecuado: Los elementos no estructurales (recubrimientos) son muy frágiles ante vientos fuertes. Se recomienda el uso de “cortinas” diseñadas para protegerlos de vientos extremos.
- Diseñar o rediseñar los hoteles y construcciones cercanas al Mar Caribe considerando la posibilidad de llegada de los efectos combinados entre la marea de tormenta y el oleaje de huracanes extremos (altura de ola del orden de 14 metros sobre el nivel del mar).
- Superar las deficiencias en los procedimientos específicos para la operación de todos los sistemas (por ejemplo, las telecomunicaciones) en caso de huracanes.
- Coordinar mejor las acciones de emergencia entre las instituciones y los hoteles.
- Reducir la vulnerabilidad de las vías de acceso (carreteras, caminos, aeropuerto).
- Establecer un centro dedicado a la administración de emergencias, lo suficientemente equipado y resistente.
- Establecer un sistema que apoye la toma de decisiones, más que acceso a información puntual o local.
- Asegurar el abasto apropiado de alimentos, útiles y herramientas posteriormente a cualquier contingencia.
- El flujo de información debe de ser realista y objetiva, antes durante y después de cualquier contingencia meteorológica.
- Incrementar la seguridad integral de los turistas y la población.

6.5 Mitigación de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero

6.5.1 Proyección de emisiones en el sector energía para los años 2008, 2012 y 2030.

El INE, que es el organismo que realiza el INEGEI, realizó la proyección de las emisiones de GEI con base en el INEGEI 1998-2002, para el Sector Energético Mexicano, para los años 2008, 2012 y 2030. Los sectores fueron considerados de acuerdo con la metodología del IPCC, por demanda de energía de los sectores: industrial, manufactura y la construcción, transporte, otros sectores (residencial, comercial, público y agropecuario).²⁷

Asimismo, se consideró el uso de energía en las industrias productoras de la misma, que incluye la generación de electricidad; y las emisiones fugitivas de la industria petrolera, del gas natural y del carbón. Los gases de efecto invernadero relevantes para el sector energía son el CO₂, el CH₄ y el N₂O.

Para construir el escenario base de emisiones para los años 2008, 2012 y 2030, el INE utilizó la plataforma computacional LEAP (*Long-range Energy Alternatives Planning System*), que relaciona el consumo de energía de los diferentes sectores con las emisiones de GEI. Los factores de emisión con los que cuenta la plataforma computacional LEAP son consistentes con los del IPCC. Se construyeron un escenario base y dos alternos.

Las conclusiones son que la generación de electricidad muestra gran sensibilidad al crecimiento del PIB, desde 30% menos en el escenario de bajo crecimiento económico, hasta 24% más en el caso de alto crecimiento, ambos con respecto al escenario de Prospectiva de la SENER al año 2030. Lo mismo ocurre con la importación de gasolina, cuyas cifras oscilan desde 80% menos en el primer escenario, hasta 50% más en el de alto crecimiento económico.

Las emisiones de CO₂ no biogénico son un poco menos sensibles, varían de 22% de aumento, con un crecimiento anual del PIB de 4.3% a 5.2%, a una reducción de 23% cuando el crecimiento anual del PIB disminuye de 4.2% a 2.8%. Se determinó que la opción de instrumentación de normas de eficiencia en los vehículos puede reducir de manera importante la emisión de GEI y se puede combinar con la opción de dieselización.

El estudio concluye que se podría reducir 17% las emisiones de GEI con respecto al escenario base si se instrumentaran las siguientes medidas:

- Generación eléctrica con participación de 29% de renovables y de 12% de nuclear.
- Instrumentación de normas de eficiencia energética en vehículos particulares a gasolina (incluyendo SUV) y vehículos a diesel.
- Instrumentación de medidas de ahorro impulsadas por la CONAE.

²⁷ INE – SEMARNAT (2006). México, Tercera Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Resumen ejecutivo (Página 29-40).



Capítulo 7. Protocolo de Gases de Efecto Invernadero (*Greenhouse Gases Protocol*).

“Metodología para la elaboración de inventarios de emisiones de gases de efecto invernadero”

El calentamiento global es un fenómeno reconocido internacionalmente como una amenaza que ha impactado negativamente distintos lugares en todo el planeta. En consecuencia, muchas organizaciones mundiales se han agrupado con la intención de tomar medidas que permitan reducir las emisiones mundiales de GEI a la atmósfera y han desarrollado programas de intercambio y comercio de emisiones, programas voluntarios de reporte de emisiones, impuestos al carbono o a la energía, y regulaciones y estándares en materia de eficiencia energética y emisiones, etc.

Una de las medidas más importantes y eficientes para lograr los objetivos de reducción de emanaciones es la elaboración de Inventarios de Emisiones de GEI pues a través de estos documentos un país, estado, localidad o institución conoce sus emisiones así como la tendencia de éstas a través del tiempo y a partir de esta información se pueden llevar a cabo proyectos de mitigación de emisiones, se puede participar en programas gubernamentales de reporte a nivel nacional, regional o local y se puede también incursionar en mercados de carbono para obtener beneficios económicos.

La metodología que proporciona una guía internacional para la elaboración de Inventarios de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero a una escala menor es la que desarrolló el Instituto de Recursos Mundiales (WRI), y el Consejo Mundial Empresarial para el Desarrollo Sustentable (WBCSD) que se denomina “Iniciativa del Protocolo de Gases Efecto Invernadero (*Greenhouse Gas Protocol Initiative*)”.²⁸ Esta metodología, se elaboró en 1998 con el objetivo de desarrollar estándares internacionales de contabilidad y reporte de los seis GEI previstos en el Protocolo de Kioto: (bióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso, (N₂O), hidrofluorocarbonos (HFCs), perfluorocarbonos, (PFCs) y hexafluoruro de azufre (SF₆) en organizaciones gubernamentales, empresas privadas, pequeñas localidades, etc.

En este capítulo se describe la Metodología de la Iniciativa del Protocolo de GEI, la cual se utiliza para la elaboración del Inventario de Emisiones de GEI del Caso de Estudio del presente trabajo de tesis.

²⁸ WRI- WBCSD (2005). Protocolo de Gases Efecto Invernadero.
<http://www.ghgprotocol.org/files/ghg-protocol-revised.pdf>

7.1 Determinación de los límites organizacionales

Los límites organizacionales determinan las unidades administrativas o las operaciones que son propiedad o están bajo control de la corporación, institución o empresas que se estudie y que por lo tanto formarán parte del inventario de emisiones de GEI. Es necesario que se determine el enfoque de consolidación, es decir, la manera en la que la información de las emisiones se procesará; existen dos tipos de enfoque: de participación accionaria y de control, los cuales se detallan posteriormente.

7.1.1 Enfoque de Participación Accionaria

Bajo este enfoque una organización contabiliza las emisiones de GEI de acuerdo a la proporción que posee en la estructura accionaria. Esta participación refleja directamente un interés económico, el cual representa el alcance de los derechos que una empresa tiene sobre los riesgos y beneficios que se derivan de una operación. El personal de la empresa encargado de preparar el inventario de GEI deberá acercarse al personal a cargo de la contabilidad o de los aspectos legales, con la finalidad de que sea aplicada la participación accionaria apropiada en cada operación compartida.

7.1.2 Enfoque de Control

Bajo el enfoque de control una empresa contabiliza el 100% de sus emisiones de GEI atribuibles a las operaciones sobre las cuales ejerce el control. No debe contabilizar emisiones de GEI provenientes de operaciones de las cuales la empresa es propietaria de alguna participación pero no tiene el control de las mismas. El control puede definirse tanto en términos financieros como operacionales. Al utilizar el enfoque de control para contabilizar sus emisiones de GEI las empresas deben decidir cuál criterio utilizar: control financiero o control operacional.

- **Control financiero.** Una empresa tiene control financiero sobre una operación si tiene la facultad de dirigir sus políticas financieras y operativas con la finalidad de obtener beneficios económicos de sus actividades. Por ejemplo, el control financiero existe generalmente si la empresa posee el derecho de apropiarse de la mayoría de los beneficios de la operación, independientemente de cómo sean asumidos estos derechos.
- **Control operacional.** Una empresa ejerce control operacional sobre alguna operación si dicha empresa o alguna de sus subsidiarias tiene autoridad plena para introducir e implementar sus políticas operativas en la operación. Este criterio es consistente con las prácticas actuales de contabilidad y reporte de muchas empresas que registran las emisiones provenientes de las operaciones que controlan. Bajo el enfoque de control operacional, la empresa que posee la dirección de una operación, ya sea de manera directa o a través de una de sus subsidiarias, deberá contabilizar como propio el 100% de las emisiones de la operación.

7.2 Límites Operacionales

Los límites operacionales determinan las emisiones directas e indirectas asociadas a operaciones que son propiedad de la institución a cargo del inventario y el reporte. Este concepto permite a una empresa establecer cuáles operaciones y fuentes generan emisiones directas o indirectas, y determinar cuáles fuentes indirectas de emisión que son consecuencia de sus operaciones deben ser incluidas en el inventario. A continuación se presenta la definición del tipo de emisiones que se deben contabilizar en un Inventario:

- Emisiones directas: Emisiones provenientes de fuentes que son propiedad o están bajo control de la empresa que reporta.
- Emisiones indirectas: Emisiones que son consecuencia de las operaciones de la empresa que reporta, pero que ocurren a partir de fuentes que son propiedad o están bajo control de otras empresas.

Para poder reportar y contabilizar adecuadamente las emisiones directas e indirectas se propone definir tres tipos de alcance. Es importante mencionar que toda empresa u organización debe contabilizar y reportar al menos el alcance 1 y alcance 2, el alcance 3 es de carácter opcional pero si se toma en cuenta sus resultados aportarán mayor confiabilidad y certeza al inventario de emisiones de GEI.

7.2.1 Alcance 1: Emisiones directas

En el alcance 1 se deben considerar emisiones directas que se emiten en unidades que son propiedad o que son controladas por la organización o empresa. A continuación se presenta una lista de las actividades que comúnmente realiza una empresa así como el tipo de emisiones que éstas generan, las que están dentro del primer alcance del inventario.

Combustión Estacionaria.

- Generación de electricidad, calor o vapor. Estas emisiones resultan de la combustión de combustibles en fuentes fijas: calderas, hornos, turbinas, etc.
- Procesos físicos o químicos. La mayor parte de estas emisiones resultan de la manufactura o el procesamiento de químicos y materiales, como cemento, aluminio, manufactura de amoníaco y procesamiento de residuos.
- Emisiones fugitivas. Estas emisiones resultan de liberaciones intencionales o no intencionales, como fugas en las juntas, sellos o empaques de los equipos; emisiones de metano provenientes de minas de carbón y emisiones de hidrofluorocarbonos (HFCs) durante el uso de equipo de aire acondicionado y refrigeración; y fugas de metano en el transporte de gas.

Combustión móvil.

- Transporte de materiales, productos, residuos y empleados. Estas emisiones resultan de la combustión de combustibles en fuentes móviles que son propiedad o están controladas por la empresa: camiones, trenes, barcos, aviones, autobuses y automóviles.

7.2.2 Alcance 2: Emisiones indirectas

Las emisiones indirectas relacionadas con el consumo de electricidad adquirida o comprada y la electricidad que se genera dentro de algún límite organizacional se deben incluir en el alcance 2.

7.2.3 Alcance 3: Otras emisiones indirectas

Este alcance como se mencionó anteriormente, es de carácter opcional y permite considerar todas aquellas emisiones indirectas que se generan en distintas actividades de la organización. A continuación se presentan una lista de las actividades que generan emisiones indirectas de GEI, que se pueden incluir en el tercer alcance del Inventario.

- Extracción y producción de materiales y combustibles adquiridos.
- Actividades relacionadas al transporte
 - Transporte de materiales y bienes adquiridos
 - Transporte de combustibles adquiridos
 - Viajes de negocios de empleados
 - Viajes de empleados de ida y vuelta al trabajo
 - Transporte de residuos
- Disposición de residuos
- Disposición de residuos generados en la producción de materiales y combustibles adquiridos.
- Disposición de productos vendidos al final de su vida útil.

A continuación se presenta la figura 7.1, la cual ilustra el tipo de emisión que se genera en cada uno de los alcances que se establecen en los límites operacionales del inventario y las actividades que se realizan en cada uno de ellos.

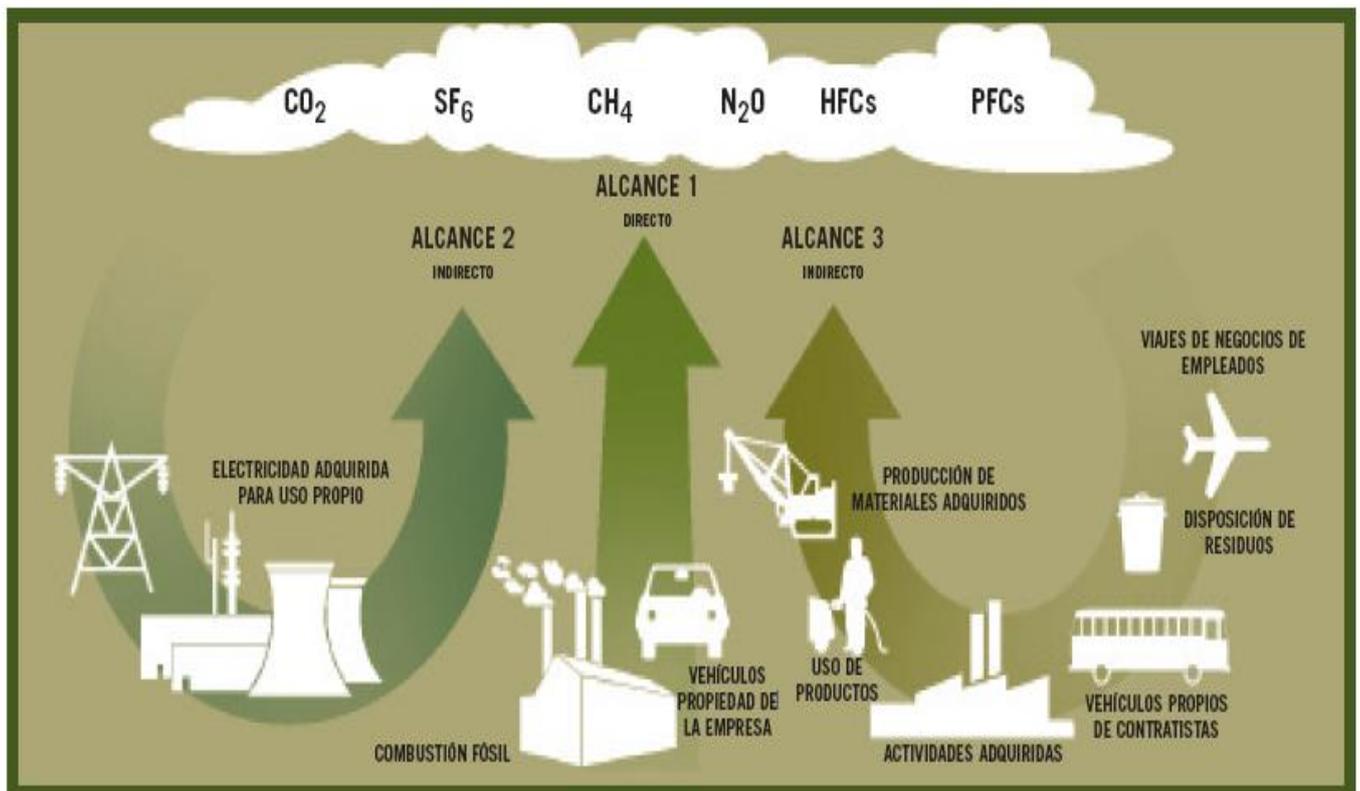


Figura 7.1 Resumen de alcances y emisiones a través de la cadena de valor.

Fuente: WRI- WBCSD (2005)

7.2.4 Doble Contabilidad

La doble contabilidad es un concepto que se utiliza cuando dos o más empresas reportan las mismas emisiones o reducciones de GEI. La doble contabilidad necesita evitarse al compilar los inventarios nacionales bajo el Protocolo de Kioto, pues se cometerían errores al querer determinar la emisión total de GEI de un país o de algún continente. Por esta razón, se deben de establecer los límites organizacionales con seriedad y buen análisis.

7.3 Seguimiento de las Emisiones a través del tiempo

7.3.1 Elección de un año base

Las empresas deben elegir como año base al más lejano en el tiempo, pero que también sea relevante para las operaciones actuales, y para el cual exista información confiable y completa. La mayor parte de las empresas eligen un solo año como año base. Sin embargo, es posible elegir como base un promedio de emisiones anuales durante varios años consecutivos.

Algunas organizaciones han adoptado el año de 1990 como año base, para seguir con las disposiciones establecidas en el Protocolo de Kioto. Sin embargo, asumir ese año base puede representar problemas para muchas organizaciones, dadas las dificultades para obtener datos confiables para ese año.

Un año base fijo tiene la ventaja de permitir que los datos de emisión sean comparados sobre una referencia común y a lo largo de un intervalo mucho más extendido que lo que permite una política de cambios recurrentes.

7.3.2 Recálculo de las emisiones del año base debido a cambios estructurales

Se pueden definir como cambios estructurales a aquellas nuevas adquisiciones o pérdidas de unidades físicas de una empresa u organización. Estos cambios disparan el ajuste de las emisiones del año base, dado que simplemente transfieren emisiones de una empresa a otra, sin cambio alguno en la cantidad de GEI que realmente se emiten a la atmósfera. Las figuras 6 y 7 ilustran el efecto de cambios estructurales y su aplicación en materia de recálculo de las emisiones del año base.

A continuación se presenta un ejemplo del recálculo de emisiones por cambios estructurales, la empresa Gamma tiene dos unidades de negocio A y B en su año base (año1), cada una de éstas emite 25 toneladas de CO₂ e. En el año 2 la empresa presenta un crecimiento en cada una de sus unidades sumando 60 toneladas de CO₂ e. Como se aprecia en la figura de la izquierda no se recalculan las emisiones. Sin embargo, al inicio del año 3, la empresa adquiere una nueva unidad de negocio (C) que con anterioridad era propiedad de otra empresa. Las emisiones anuales de la unidad C en el año 1 fueron de 15 toneladas, y de 20 toneladas en los años 2 y 3. Las emisiones totales de la empresa Gamma en el año 3, incluyendo a la unidad C, serán de 80 toneladas.

Para mantener consistencia a lo largo del tiempo, la empresa Gamma recalcula las emisiones de su año base con el fin de tomar en cuenta la adquisición de la unidad C. Por lo tanto, las emisiones del año base se incrementan en las 15 toneladas que emitió la unidad C en el año base. Las emisiones recalculadas del año base son entonces de 65 toneladas. Gamma también reporta (opcionalmente) las emisiones recalculadas del año 2, que ascienden a 80 toneladas.

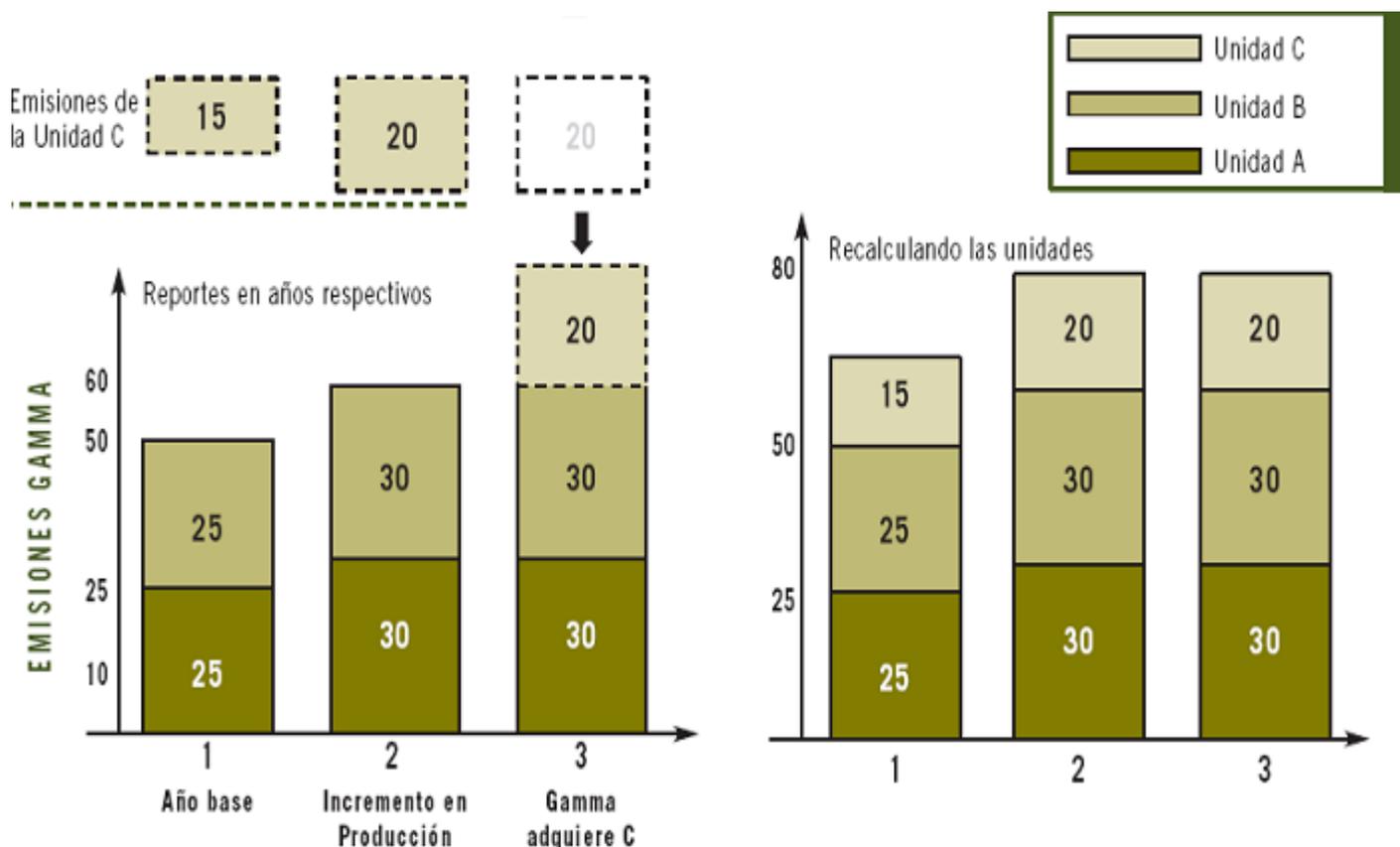


Figura 7.2 Ejemplo de un Ajuste o recálculo de las emisiones del año base debido a una adquisición.

WRI- WBCSD (2005). Protocolo de Gases Efecto Invernadero.

7.4 Identificación de las fuentes de emisión de GEI

Para poder realizar una contabilidad confiable de las emisiones de GEI en una organización es recomendable seguir los pasos que se proponen a continuación:

1. Identificar las fuentes de emisión
2. Seleccionar un método de cálculo
3. Recolectar información y seleccionar factores de emisión
4. Aplicar las herramientas de cálculo
5. Elaborar el reporte de las emisiones.

Es recomendable que se categoricen las fuentes de emisión en cada alcance del inventario. Estas fuentes de emisión están en función del tipo de sector al que pertenece la empresa que se analiza, en general se pueden considerar los siguientes sectores industriales: energía, metal mecánico, producción química, residuos, producción de HFC, pulpa y papel, producción de semiconductores y el de servicios y organizaciones basadas en oficinas.

En el anexo A se presentan las fuentes de emisiones que se pueden considerar en cada uno de los alcances de emisión en cada tipo de sector industrial.

7.5 Recolección de Información

Una vez establecidas las fuentes de emisión de GEI en los tres tipos de alcance, se procede a recolectar la información que se necesita en el cálculo de las emisiones. Es recomendable la elaboración de cuestionarios o de hojas de requisición de la información, los cuales se deben de entregar a las personas responsables de la administración de los recursos financieros de la organización, pues se requerirá de información relacionada con el consumo de energía eléctrica adquirida o generada, consumo de combustible para el transporte de personas, materias primas, residuos, etc.

La información de cada actividad se presenta en una unidad específica, por ejemplo:

- metros cúbicos, pies cúbicos, en términos de gas natural
- galones o litros de combustible para calentadores
- kilowatt horas (kW) o megawatts hora (MWh) en el consumo de electricidad
- millas o kilómetros recorridos en viajes aéreos

Los factores de emisión relacionan la información de actividad a valores de emisión, los factores de emisión son publicados por distintos organismos como agencias de gobiernos locales, estatales o nacionales y agencias intergubernamentales. Los factores de emisión se presentan en unidades específicas, por ejemplo:

- kilogramos de CO₂ por kilómetro aéreo recorrido
- kilogramos de CO₂ por kilowatt hora consumida de electricidad
- kilogramos de CO₂ por litro o galón de gasolina o diesel consumido

a) Información de la actividad requerida para emisiones directas del alcance 1.

La información que se necesita recolectar para el cálculo de las emisiones de alcance 1, es el consumo de combustible comercial como el gas natural, diesel, combustóleo, gasolina en equipos o maquinaria que le pertenece a la empresa o institución que realiza el inventario tales como: boilers, calderas, así como vehículos que se utilizan para el transporte de personas o materiales; los factores de emisión que se pueden utilizar son aquellos que se publican en la Base de Datos de Factores de Emisión del IPCC publicados en el 2006.

b) Información de la actividad necesaria para las emisiones indirectas del alcance 2.

La recolección de la información de la actividad para las emisiones indirectas es un poco más complicada porque no siempre se dispone de recibos que mencionen el consumo de energía eléctrica. A continuación se presentan dos maneras de recolectar información para este alcance, la primera si se dispone de recibos o facturas del consumo de electricidad y la segunda manera es para cuando esta información no está disponible.

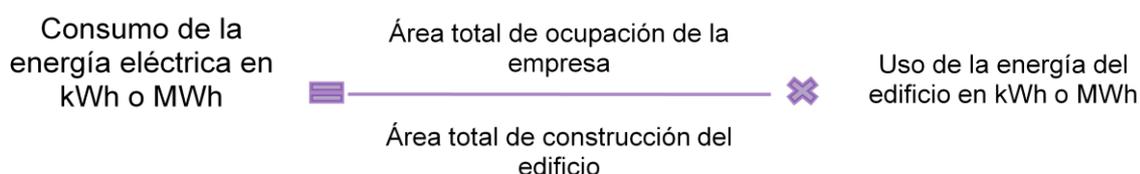
- Consumo de energía eléctrica adquirida.

La información que se requiere para calcular las emisiones indirectas de GEI es el consumo de energía eléctrica en kWh que generalmente se encuentra en los recibos de energía eléctrica mensuales.

- Estimación del consumo de energía eléctrica en edificios

Otra manera de estimar el consumo de electricidad es relacionando las características de los edificios o estructuras que le pertenecen a la empresa o institución que realiza el inventario de emisiones; este método considera que los ocupantes de cada edificio tienen los mismos patrones de consumo de energía. Para poder aplicar este método se requiere de la siguiente información:

- Área total de construcción del edificio
- Área total de ocupación de la empresa
- Uso de la energía del edificio en kWh o MWh.



(5)

Los factores de emisión que se pueden utilizar son los publicados por los proveedores de electricidad o por la red eléctrica local, si no se cuenta con información confiable es conveniente consultar los Factores de Emisión propuestos por el IPCC.

c) Información de la actividad necesaria para las emisiones indirectas del alcance 3.

Las otras emisiones indirectas que se pueden incluir en un inventario son las que se relacionan con los viajes del personal de sus domicilios a las instalaciones de la empresa y los viajes del personal de sus domicilios a las instalaciones del campus; cabe señalar que el cálculo de estas emisiones no es obligatorio en un inventario, sin embargo, estas emisiones son muy representativas y en ocasiones son las que tienen una mayor influencia en el inventario de emisiones.

- Viajes aéreos nacionales e internacionales del personal

La información de la actividad necesaria para estimar las otras emisiones indirectas de GEI relacionadas con los viajes aéreos nacionales e internacionales del personal de una empresa o de una institución, es el número de viajes, su procedencia y destino, la distancia recorrida por cada pasajero; las unidades en las que se debe de presentar esta información son kilómetros o millas recorridos por cada pasajero.

- Viajes del personal de sus domicilios a las instalaciones de la empresa

Para estimar las emisiones referidas a los viajes realizados por el personal de sus domicilios a las instalaciones de la empresa, se requiere de la distancia que los trabajadores recorren de sus domicilios y el modo de transporte que utilizan. Para determinar esta información se debe de realizar una investigación para establecer algún recorrido promedio y para que la información que se procese en el cálculo sea más correcta, la información que se recomienda incluir en la investigación es la que se presenta a continuación:

La distancia recorrida por cada persona es el dato más importante en el análisis de todas las formas de transporte que utiliza el personal de una empresa, excepto para aquellos que utilizan vehículos automotores para su desplazamiento. Es necesario que cada empleado aporte la siguiente información en la investigación:

- Modo de transporte: (autobús, tren, metro, motocicleta, bicicleta, etc).
- Distancia promedio recorrida por cada empleado de ida y de regreso, desde su domicilio hasta las instalaciones de la empresa.
- Número promedio de días a la semana que cada persona se desplaza hasta la empresa
- Eficiencia del combustible de cada vehículo, tipo de combustible, y el número de personas que viajan en el automóvil.
- Información relacionada con la combinación de modos de transporte de cada persona, pues ésta puede utilizar distintas modos de transporte para desplazarse de su domicilio hasta la empresa.

Una vez recolectada la información, se debe de utilizar la siguiente ecuación para estimar la actividad anual de cada modo de transporte, excepto para automóviles:

$$\text{Distancia anual recorrida en cada modo de transporte} = \text{Número de días por semana que empleado utiliza el modo de transporte} \times \text{Distancia promedio recorrida} \times \text{Número de semanas laborales de cada empresa por año} \quad (6)$$

Con respecto a los trabajadores que utilizan automóvil, se deben de utilizar las siguientes ecuaciones para determinar el consumo de combustible atribuible a cada empleado:

$$\text{Distancia total anual recorrida por cada empleado en su automóvil} = \text{Número de días por semana que se utiliza el automóvil} \times \text{Distancia promedio recorrida} \times \text{Número de semanas laborales de cada empresa por año} \quad (7)$$

$$\text{Consumo de combustible} = \frac{\text{Distancia anual recorrida por cada empleado}}{\text{Eficiencia del combustible que utiliza el vehículo}} \quad (8)$$

$$\text{Consumo de combustible atribuible a cada empleado} = \frac{\text{Consumo de Combustible}}{\text{Número de personas que viajan en el automóvil}}$$

(9)

La recolección de información y la selección de factores de emisión para empresas industriales clasificadas en el sector aluminio, cemento, pulpa y papel, hierro y acero, forestal es más compleja; por esta razón se deben de consultar las guías para sectores específicos cuidadosamente, las cuales están disponibles en el sitio web del Protocolo de GEI o en sus asociaciones industriales como el Instituto Internacional del Aluminio, el Instituto Internacional del Hierro y el Acero, el Instituto Americano del Petróleo o la Iniciativa para la Sustentabilidad de la Industria del Cemento del WBCSD, la Asociación Internacional de la Industria Petrolera para la Conservación Ambiental, etc.

7.6 Cálculo de las emisiones de GEI

Es importante mencionar que la medición directa de emisiones de GEI mediante el monitoreo de concentración y flujo no es considerado un método adecuado o común. Para poder estimar el total de las emisiones de GEI en la atmósfera se puede realizar un balance de masa específico para una planta o algún proceso.

En este trabajo de tesis las emanaciones de GEI a la atmósfera se determinan relacionando factores de emisión documentados con alguna medida de actividad en una fuente de emisión. Las organizaciones, empresas o instituciones educativas deben de establecer el método de cálculo más adecuado que se encuentre a su disposición y que sea apropiado al tipo de actividades que realiza o al sector al que pertenece.

Las estimaciones en el cálculo de emisiones de GEI siguen esta fórmula básica:

$$\text{Emisiones de Gases de Efecto Invernadero} = \text{Información de la actividad} \times \text{Factor de Emisión}$$

(10)

7.6.1 Método de Cálculo

La Metodología de la Iniciativa del Protocolo de GEI proporciona métodos de cálculo de emisiones, las cuales son hojas de cálculo en Microsoft Excel y relacionan los datos sobre actividades y los factores de emisión de cada fuente identificada en el inventario.

Las emisiones de cada GEI (CO₂, CH₄, N₂O, etc.) se calculan de manera separada y se convierten a equivalentes de CO₂ con base en su potencial de calentamiento global. Algunos métodos de cálculo, como los del sector del hierro y el acero y el método intersectorial de HFC, tienen un enfoque jerarquizado, ofreciendo una elección entre un método de cálculo simple y una más avanzada.

Los métodos más avanzados generan estimaciones de emisiones más precisas, pero usualmente requieren recolectar datos más detallados y un entendimiento más completo de las tecnologías de una empresa.

El uso de estos métodos de cálculo, es muy recomendable pues han sido evaluados y aprobados por expertos del IPCC y líderes internacionales de la industria quienes publican periódicamente actualizaciones y ajustes. Estos métodos se clasifican en intersectoriales y sectoriales y se encuentran disponibles en la página web del Protocolo de GEI, en la sección “*Calculation Tools*”²⁹; a continuación se describen brevemente las dos categorías principales:

- **Métodos de cálculo intersectoriales.** Estos métodos de cálculo abordan fuentes de GEI que son comunes para varios sectores, por ejemplo emisiones de fuentes de combustión fija o móvil, uso de HFC en refrigeración y aire acondicionado. En la tabla 14 se presentan los métodos intersectoriales establecidas en el Protocolo de GEI así como sus características principales.

Tabla 14. Métodos Intersectoriales de Cálculo

Tipo de Método de Cálculo	Emisiones de GEI que se determinan
Combustión Fija	• Emisiones directas e indirectas de CO ₂ de la combustión de combustibles fósiles en equipo estacionario o fijo.
Combustión Móvil	• Emisiones directas e indirectas de CO ₂ de la combustión de combustibles fósiles en fuentes móviles.
HFC del Uso de Aire Acondicionado y Refrigeración	• Emanaciones directas de HFCs durante la manufactura, uso y disposición de equipo de refrigeración y aire acondicionado en aplicaciones comerciales.
Incertidumbre en la Medición y Estimación de Emisiones de GEI	• Calcula la incertidumbre estadística de los parámetros debido a errores aleatorios relacionados con el cálculo de emisiones de GEI.

Fuente: WRI- WBCSD (2005). Protocolo de Gases Efecto Invernadero, p.55.

- **Métodos sectoriales.** Estos métodos de cálculo sectoriales se deben de utilizar para determinar emisiones en sectores específicos como el del aluminio, hierro y acero, cemento, petróleo y gas, pulpa y papel, organizaciones basadas en oficinas, etc. Es conveniente mencionar que en la mayoría de los inventarios se deben utilizar más de un método de cálculo para cubrir la totalidad de las emisiones de GEI. En la tabla 15 se presentan los métodos sectoriales y una descripción de los resultados que se obtienen mediante su utilización.

²⁹ WRI- WBCSD (2005). Protocolo de Gases Efecto Invernadero. Herramientas de Cálculo (Calculation Tools) <http://www.ghgprotocol.org/calculation-tools/sector-toolsets>

Tabla 15. Métodos de cálculo sectoriales.

Tipo de Método de Cálculo	Emisiones de GEI que se determinan
Producción de aluminio y otros metales no ferrosos	<ul style="list-style-type: none"> • Emisiones directas de GEI de la producción de aluminio (CO₂ de la oxidación anódica, emisiones de PFC derivadas del "efecto de ánodo" y SF₆ utilizado como gas de cubierta en la producción de metales no ferrosos).
Hierro y acero	<ul style="list-style-type: none"> • Emanaciones directas de CO₂ de la oxidación del agente reductor, de la calcinación del flujo utilizado en la producción de acero, y de la remoción de carbón del hierro mineral en bruto y acero de desecho utilizadas.
Manufactura de ácido nítrico	<ul style="list-style-type: none"> • Emisiones directas de N₂O de la producción de ácido nítrico.
Manufactura de amoníaco	<ul style="list-style-type: none"> • Emisiones directas de CO₂ de la producción de amoníaco.
Manufactura de ácido adípico	<ul style="list-style-type: none"> • Emanaciones directas de N₂O de la producción de ácido adípico.
Cemento	<ul style="list-style-type: none"> • Emisiones directas de CO₂ del proceso de calcinación en la manufactura del cemento.
Cal	<ul style="list-style-type: none"> • Emanaciones directas de CO₂ provenientes de la manufactura de cal.
HFC-23 proveniente de la producción de HCFC-22	<ul style="list-style-type: none"> • Emisiones directas de HFC-23 provenientes de la producción de HCFC-22.
Pulpa y papel	<ul style="list-style-type: none"> • Emanaciones directas de CO₂, CH₄, y N₂O de la producción de pulpa y papel. Esto incluye el cálculo de las emisiones directas e indirectas de CO₂ de la combustión de combustibles fósiles, biocombustibles y productos de desperdicio en equipos estacionarios.
Producción de paneles semi-conductores	<ul style="list-style-type: none"> • Determina emanaciones de PFC de la producción de paneles semi-conductores.
Guía para organizaciones basadas en oficinas	<ul style="list-style-type: none"> • Calcula las emisiones directas de CO₂ por uso de combustibles, emisiones indirectas de CO₂ por consumo de electricidad, y otras emisiones indirectas de CO₂ por viajes de negocios y de empleados desde la empresa hasta sus domicilios.

Fuente: WRI- WBCSD (2005). Protocolo de Gases Efecto Invernadero, p.55.

7.6.2 Unidades en las que se reportan las emisiones de GEI en el inventario de emisiones

Los métodos de cálculo que proporciona la metodología utilizada contabilizan las emisiones de GEI en toneladas de GEI. Para uniformizar las unidades de emisión se deben de transformar a toneladas de dióxido de carbono equivalente (toneladas de CO₂ e), que se puede definir como la concentración de dióxido de carbono que podría causar el mismo grado de forzamiento radiativo que una mezcla determinada de dióxido de carbono y otros gases de efecto invernadero (IPCC, 2007)³⁰

Para transformar las toneladas de GEI a toneladas de CO₂ e, se deben de relacionar las emisiones con los valores de potencial de calentamiento global recomendados por el Protocolo de GEI, que se presentan en la siguiente tabla. El potencial del calentamiento global es un índice que describe las características radiativas de los gases de efecto invernadero bien mezclados y que representa el efecto combinado de los diferentes tiempos que estos gases permanecen en la atmósfera y su eficiencia relativa en la absorción de radiación infrarroja saliente. Este índice se aproxima al efecto de calentamiento integrado en el tiempo de una masa-unidad de determinados GEI en la atmósfera actual, en relación con una unidad de dióxido de carbono (IPCC, 2007).³¹A continuación se presenta en la siguiente tabla el potencial de calentamiento global en términos de CO₂ e de cada GEI analizado.

Tabla 16. Potencial de calentamiento global CO₂ e

Gas de Efecto Invernadero	Potencial de calentamiento global (CO ₂ e)
Dióxido de carbono (CO ₂)	1
Metano (CH ₄)	21
Óxido Nitroso (N ₂ O)	310
Hidrofluorocarbonos (HFC)	11700
Perfluorocarbonos (PFC)	6500 - 9200
Hexafluoruro de Azufre (SF ₆)	23900

Fuente: IPCC (2007). Cuarto Reporte del IPCC, Grupo de Trabajo I, p.50.

7.7 Reporte de emisiones de GEI

En esta parte de la tesis, se explicará cómo se debe elaborar el reporte de las emisiones obtenidas a partir de algún método de cálculo, el cual es un proceso que se debe de planear con el propósito de minimizar su carga de información y sobre todo para tratar de minimizar posibles errores. Muchas organizaciones o empresas necesitan recopilar y condensar datos de distintas plantas o sucursales ubicadas posiblemente en distintos estados o países para realizar el reporte de sus emisiones totales. Para este caso, es recomendable la utilización de formatos de reporte estandarizados para que los resultados de las emisiones de todas las

³⁰ IPCC (2007). Glosario de términos del IPCC, Anexo B, p. 5. <http://www.ipcc.ch/pdf/glossary/tar-ipcc-terms-sp.pdf>

³¹ IPCC (2007). Glosario de términos del IPCC, Anexo B, p. 20. <http://www.ipcc.ch/pdf/glossary/tar-ipcc-terms-sp.pdf>

unidades de negocios, plantas o instalaciones sean comparables, y en consecuencia se podrán reducir errores en el reporte de emisiones. El Protocolo de GEI establece dos tipos de enfoque para recolectar los datos de emisiones de GEI en una organización, el enfoque centralizado y descentralizado; los cuales se describen enseguida.

- **Enfoque Centralizado:** De acuerdo con este enfoque, las instalaciones reportan individualmente datos sobre sus actividades así como el uso de combustibles al nivel corporativo, donde las emisiones de GEI son calculadas. Este enfoque puede ser particularmente apropiado para organizaciones basadas en oficinas.

Solicitar que las plantas reporten los datos de sus actividades y/o uso de combustibles puede ser la opción preferible si el personal del nivel corporativo o de división puede calcular los datos de emisiones de manera directa con base en los datos de actividades y/o uso de combustibles.

- **Enfoque Descentralizado:** Para este tipo de enfoque se sugiere que las plantas, instalaciones o unidades de negocios recolecten de manera individual datos sobre sus actividades y/o uso de combustible, que calculen directamente sus emisiones de GEI utilizando métodos aprobados y que reporten esta información al nivel corporativo. En ocasiones, solicitar que las unidades de negocios realicen el cálculo resulta un proceso difícil pues se puede requerir de programas de capacitación y además se pueden generar un mayor número de errores en la estimación de las emisiones. Sin embargo, se recomienda este tipo de enfoque para calcular las emisiones de GEI se necesita de un conocimiento detallado del tipo de equipo utilizado en las plantas, las emisiones de proceso (en contraste con las emisiones de la quema de combustibles fósiles) constituyen una porción importante de las emisiones totales de GEI o si existieran recursos disponibles para entrenar al personal de las plantas para conducir estos cálculos y auditarlos.

La selección del enfoque o método de recolección de datos, depende del tipo de empresa que reporta y de sus necesidades particulares. Para obtener mejores resultados en la elaboración del reporte, algunas empresas pueden utilizar una combinación de los dos enfoques. Éstos no son mutuamente exclusivos y deben de conducir al mismo resultado; para verificar los resultados se pueden seguir los dos enfoques y realizar una comparación de ambos.



Capítulo 8. Proyecto de mitigación de emisiones de GEI

La metodología de la Iniciativa del Protocolo de GEI, es una guía internacional para la elaboración de proyectos de mitigación de emisiones de organizaciones, empresas y localidades denominada “Iniciativa del Protocolo de Gases de Efecto Invernadero (*Greenhouse Gas Protocol Initiative*)”³² que elaboró el Instituto de Recursos Mundiales (WRI), y el Consejo Mundial Empresarial para el Desarrollo Sustentable (WBCSD) en el año de 1998.

Esta metodología se utiliza en este trabajo de tesis para realizar el proyecto de mitigación de emisiones de GEI de la Unidad Profesional “Adolfo López Mateos” del Instituto Politécnico Nacional.

Un proyecto de mitigación de emisiones en el caso de estudio consiste en establecer una serie de medidas que tienen el objetivo de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), incrementar los sumideros de carbono y aumentar removedores de GEI de la atmósfera. Estas medidas se relacionan con modificaciones en los procesos, en el consumo, en los servicios, en los sistemas de administración así como en la implementación de nuevas tecnologías y sistemas.

La base de un proyecto de mitigación de emisiones de GEI es la información que proporciona el Inventario de Emisiones de GEI pues a partir de éste se puede conocer las emisiones que potencialmente se pueden minimizar y se puede establecer un objetivo de reducción de emisiones de GEI.

8.1 Determinación de objetivos de reducción de emisiones

Para poder establecer un proyecto de mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), es necesario establecer objetivos de reducción de emisiones de GEI. Desarrollar un inventario de emisiones es un paso fundamental para identificar riesgos y oportunidades en materia de GEI, sin embargo, determinar un objetivo de reducción de emisiones es una herramienta de planeación indispensable para ello.

Un objetivo de reducción de GEI contribuye a crear conciencia sobre los riesgos y oportunidades asociados al fenómeno de cambio climático, permite la introducción del tema en la agenda de la institución para minimizar los riesgos. También facilita la identificación de oportunidades de negocio y nuevos nichos de mercado vinculados a las emisiones de GEI. Según la metodología analizada, existen dos tipos de objetivos de reducción de emisiones de GEI: objetivos de reducción absoluto y de intensidad.

1. Objetivo de reducción absoluto:

Un objetivo de mitigación de emisiones absoluto expresa una cantidad específica de reducción de emisiones durante un periodo determinado, la cual se expresa en toneladas anuales de CO₂ e. Este tipo de meta es

³² WRI- WBCSD (2005). Protocolo de Gases Efecto Invernadero.
<http://www.ghgprotocol.org/files/ghg-protocol-revised.pdf>

conveniente porque a través de su implementación se pueden lograr reducciones en cantidades específicas de GEI emitidas a la atmósfera. Sin embargo, plantean una gran complejidad cuando es preciso recalcular las emisiones del año base como resultado de cambios estructurales en la empresa u organización, lo que complica el seguimiento de las emisiones a través del tiempo.

2. Objetivo de reducción de intensidad:

Se expresa como una relación de la reducción de las emisiones de GEI y alguna variable representativa del nivel de actividad u operación de la empresa. Los objetivos de intensidad permiten reducir el cociente, o la relación de emisiones relativas a alguna variable representativa del nivel de la actividad de la empresa.

Algunas de las ventajas en el establecimiento de este tipo de objetivos es que reflejan mejoras en el desempeño independientemente del crecimiento o decrecimiento de una empresa, además no requieren recálculo de las emisiones del año base ante cambios estructurales y pueden facilitar la comparabilidad del desempeño entre diferentes operaciones.

8.2 Elección del año base objetivo

Para que un objetivo de reducciones de emisiones sea eficiente, tienen que haber transparencia sobre la forma en que se definen las emisiones objetivo con respecto al pasado. A continuación se presentan dos enfoques posibles: un año base fijo o un año base móvil.

- Año base fijo. Los objetivos de reducción se definen como un porcentaje con respecto a un año base fijo objetivo. Es necesario que en un proyecto de mitigación de emisiones se realice un seguimiento de las emisiones a través del tiempo con referencia al año base fijo, cabe mencionar que es posible utilizar un año objetivo base objetivo multianual promedio.
- Año base móvil. Es recomendable utilizar un año base móvil objetivo cuando es complicado y costoso generar y mantener datos confiables y verificables para un año base fijo, en especial cuando la empresa frecuentemente amplía sus instalaciones. Un año base móvil para el objetivo de reducción de emisiones se traslada hacia adelante en intervalos determinados, generalmente de un año, de tal forma que las emisiones siempre se comparen con respecto al año anterior.

Los factores que desencadenan el recálculo del año base son similares a los que aplican al contexto del año base fijo. La diferencia radica en que tan lejos hacia el pasado deben recalcularse las emisiones. La tabla 18 muestra una comparación entre distintos objetivos referidos a años bases fijos y móviles.

Tabla 18. Comparación de objetivos con respecto a años base fijos y móviles

	AÑO BASE OBJETIVO FIJO	AÑO BASE OBJETIVO MÓVIL
Forma de definir el objetivo	Emitir un % en el año B con respecto al año A	Durante los siguientes X años, se reducirá un Y% cada año, comparado con el año anterior ⁴
Naturaleza del año base objetivo	Un año de referencia fijo en el pasado	El año anterior
Extensión del período de comparación	Las series de tiempo de emisiones absolutas, compararán semejantes con semejantes	En presencia de cambios estructurales significativos, no serán comparables las emisiones en períodos mayores a dos años
Base de comparación entre el año base y el año terminal	La comparación con el tiempo se basa en lo que es propiedad o está bajo control de la empresa en el año objetivo terminal	La comparación con el tiempo se basa en si fue propiedad o fue controlado por la empresa en los años en que la información fue reportada ⁵
Alcance del recálculo hacia el pasado	Las emisiones son recalculadas para todos los años anteriores hasta el año base objetivo fijo	Las emisiones son recalculadas sólo para el año anterior al cambio estructural, o posterior para el año del cambio estructural, con lo cual este último se convierte en el año base
Confiabilidad de las emisiones del año base	Si la empresa que ha asumido un objetivo adquiere una nueva operación, para la cual no existen datos confiables de emisiones en el año base, se requiere una proyección retrospectiva de emisiones, lo que necesariamente reduce la confiabilidad del año base	Sólo se requieren datos de emisiones del año anterior para la operación adquirida (o incluso, sólo a partir de la fecha de adquisición), lo que reduce o elimina la necesidad de una proyección retrospectiva de emisiones

Fuente: WBSCD-WRI-SEMARNAT (2005). "Protocolo de Gases de Efecto Invernadero", Determinación de un objetivo de emisiones, p.93.

8.3 Definición de la fecha de compromiso

La fecha compromiso para el objetivo determina si este es de corto o de largo plazo. Los objetivos de largo plazo (más de 10 años) favorecen una planeación a largo plazo de periodos muy extendidos y, a su vez, inversiones más favorables en términos de emisiones de GEI. Sin embargo, pueden propiciar el futuro desuso del equipo menos eficiente. Los objetivos de largo plazo dependen de acontecimientos inciertos en el futuro, que plantean tanto oportunidades como riesgos; como lo ilustra la figura 8.1. Es posible que para muchas organizaciones resulte práctico plantearse un objetivo de 5 años.

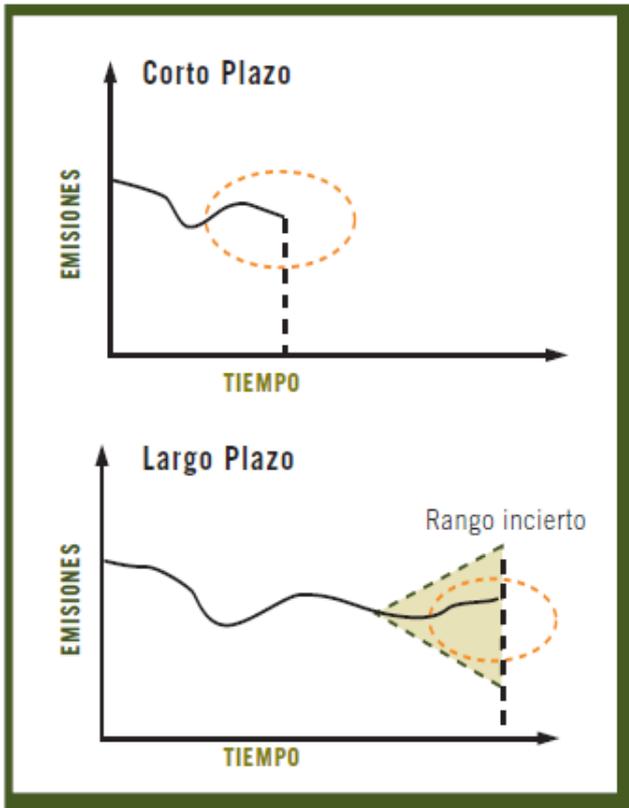


Figura 8.1 Definición de la fecha compromiso.

Fuente: WBSCD-WRI-SEMARNAT (2005). “Protocolo de Gases de Efecto Invernadero”, Determinación de un objetivo de emisiones, p.90.

8.4 Definición de la extensión del periodo del compromiso

El periodo de compromiso, es el intervalo de tiempo en el que se debe de dar seguimiento a las emisiones con respecto al objetivo establecido; finaliza en el periodo terminal de cumplimiento del objetivo.

El Protocolo de Kyoto especifica que se debe analizar un primer periodo multianual de compromiso (2008-2012). La extensión del periodo expresa el nivel de compromiso de la organización que asume un objetivo; entre más grande sea, más largo será el periodo en el que el desempeño en materia de emisiones queda referido al objetivo.

La figura 8.2 ilustra cómo la extensión del periodo de cumplimiento determina el volumen de emisiones que son realmente relevantes para el desempeño con respecto al objetivo.

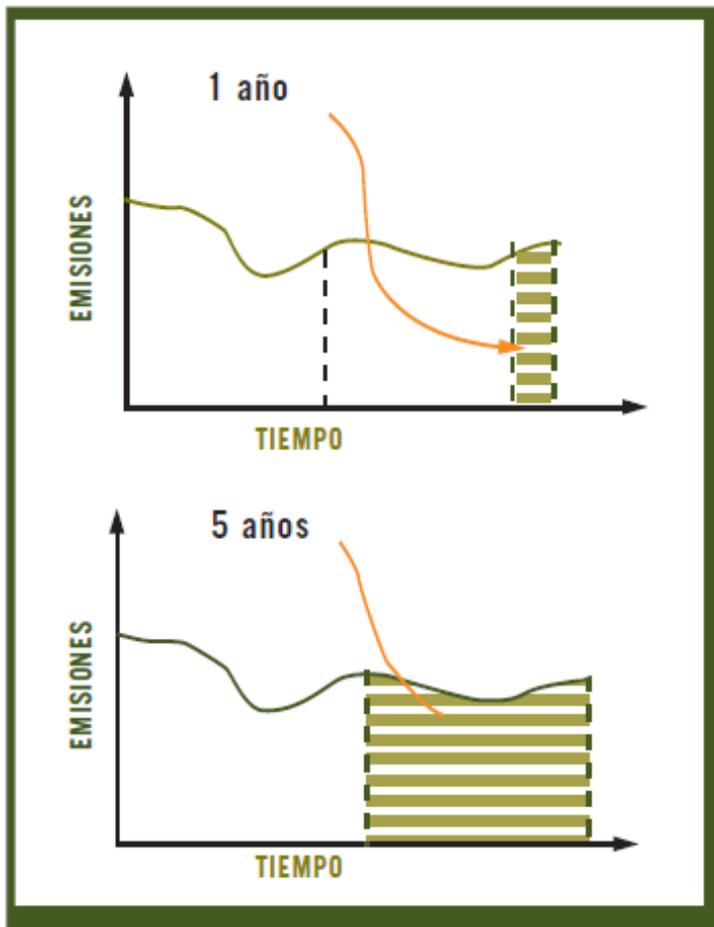


Figura 8.2 Periodos de compromiso corto y largo
 Fuente: WBSCD-WRI-SEMARNAT (2005). “Protocolo de Gases de Efecto Invernadero”, Determinación de un objetivo de emisiones, p.92.

8.5 Decisión sobre la compra – venta de emisiones

Un objetivo de reducción de emisiones de GEI puede lograrse completamente con medidas o proyectos internos de mitigación de emisiones, aplicados en fuentes comprendidas dentro del límite del inventario. También puede lograrse por medio de títulos que amparen reducciones o captura o secuestro de CO₂ adquiridos en el mercado, y que corresponden a fuentes ajenas al inventario de emisiones de la empresa. Comprar emisiones puede ser apropiado cuando el costo interno de reducción es alto, cuando las oportunidades internas son muy limitadas, o cuando la empresa no puede cumplir con su objetivo debido a eventos inesperados. Es evidente que en el reporte correspondiente sobre GEI debe especificarse qué tanto del objetivo se ha logrado con reducciones propias y qué tanto con compras externas.

8.6 Seguimiento y reporte del progreso

Una vez que el objetivo ha sido establecido, es necesario dar seguimiento al desempeño con el fin de verificar el cumplimiento, y también (para mantener credibilidad) para reportar cualquier reducción externa de una forma consistente, completa y transparente.

- Hacer revisiones periódicas de desempeño. Con el fin de dar seguimiento al cumplimiento del objetivo, es importante vincular el objetivo al proceso anual de inventario, y hacer revisiones periódicas con

respecto al objetivo. Para ello, algunas empresas utilizan objetivos provisionales (un objetivo móvil de manera automática plantea objetivos provisionales cada año).

- Reportar información en relación al objetivo. Las empresas deben incluir la siguiente información al dar seguimiento y reportar el cumplimiento de su objetivo:

1. Descripción del objetivo:

- Ofrecer una descripción general de los límites del objetivo
- Especificar el tipo de objetivo, el año base del objetivo, la fecha de compromiso del objetivo, y la extensión del periodo de cumplimiento.
- Especificar la posibilidad de utilizar créditos para el cumplimiento del objetivo, al igual que su tipo y cantidad.
- Describir la política de doble contabilidad en el objetivo.
- Especificar el nivel del objetivo.

2. Información sobre emisiones y desempeño con respecto al objetivo:

- Reportar emisiones de fuentes dentro de los límites de objetivo de manera separada de cualquier negociación de emisiones de GEI.
- Si se utiliza un objetivo de intensidad, reportar las emisiones absolutas dentro del límite del objetivo de manera independiente de la negociación de emisiones y de la unidad de medida de la actividad u operación de la empresa.
- Reportar la negociación de emisiones relevantes al cumplimiento del objetivo (incluyendo los créditos utilizados para ello).
- Reportar cualquier reducción interna de emisiones que haya sido vendida o transferida a otra organización para ser usada como crédito.
- Reportar el desempeño global en relación al objetivo

III. Estudio de Caso: Unidad Profesional “Adolfo López Mateos” del Instituto Politécnico Nacional”

Capítulo 9. Inventario de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero de la Unidad Profesional “Adolfo López Mateos” del Instituto Politécnico Nacional

El Inventario de Emisiones de Gases de Emisiones de Efecto Invernadero (GEI) de la Unidad Profesional “Adolfo López Mateos” del Instituto Politécnico Nacional (IPN), se basa en la metodología de la “Iniciativa del Protocolo de GEI” descrita en el capítulo 7 de este trabajo de tesis.

Como se especifica en el establecimiento de los objetivos de este trabajo, este Inventario se registrará en el Programa Voluntario de Contabilidad y Reporte de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (Programa GEI México), que fue establecido en 2004 a través de un convenio de colaboración entre la SEMARNAT, el Instituto de Recursos Mundiales (WRI, por sus siglas en inglés) y el Consejo Mundial Empresarial para el Desarrollo Sustentable (WBCSD, por sus siglas en inglés). De esta manera el inventario de emisiones de GEI de la Unidad Profesional “Adolfo López Mateos” del IPN formará parte de la próxima actualización del Inventario de emisiones nacionales de GEI que será parte fundamental de la próxima Comunicación de México ante las Naciones Unidas.

Este inventario contabiliza las emisiones directas por combustión estacionaria y combustión móvil y las emisiones indirectas que se relacionan con el consumo de electricidad comprada, con los viajes del personal y estudiantes de sus domicilios hasta las instalaciones de la Unidad Profesional “Adolfo López Mateos” y con los viajes aéreos nacionales e internacionales de los funcionarios y docentes del IPN.

9.1 Determinación de los Límites Organizacionales

Para la realización del inventario institucional es necesario establecer los límites organizacionales y el enfoque de consolidación que definen las unidades administrativas consideradas dentro del inventario y la manera en que se contabilizan sus emisiones. Estos límites se definen de acuerdo a la propiedad o control de las operaciones de la organización.

El Instituto Politécnico Nacional (IPN) es un órgano desconcentrado de la Secretaría de Educación Pública, cuya orientación general corresponde al Estado (Ley Orgánica del IPN, 1982).³³ El IPN es una institución pública mexicana de investigación y educación a niveles: medio superior, superior y posgrado posee matrícula inscrita de más de ciento setenta y cinco mil alumnos en sus 232 carreras impartidas en 55 planteles, centros y unidades de enseñanza y de Investigación los cuales dependen de la misma (Ley Orgánica del IPN, 1982).

³³ Ley Orgánica del IPN (1982). Diario Oficial de la Federación. (Artículo 2º), México D.F.

De manera ilustrativa, la Figura 9.1 muestra la estructura funcional del Instituto Politécnico Nacional.

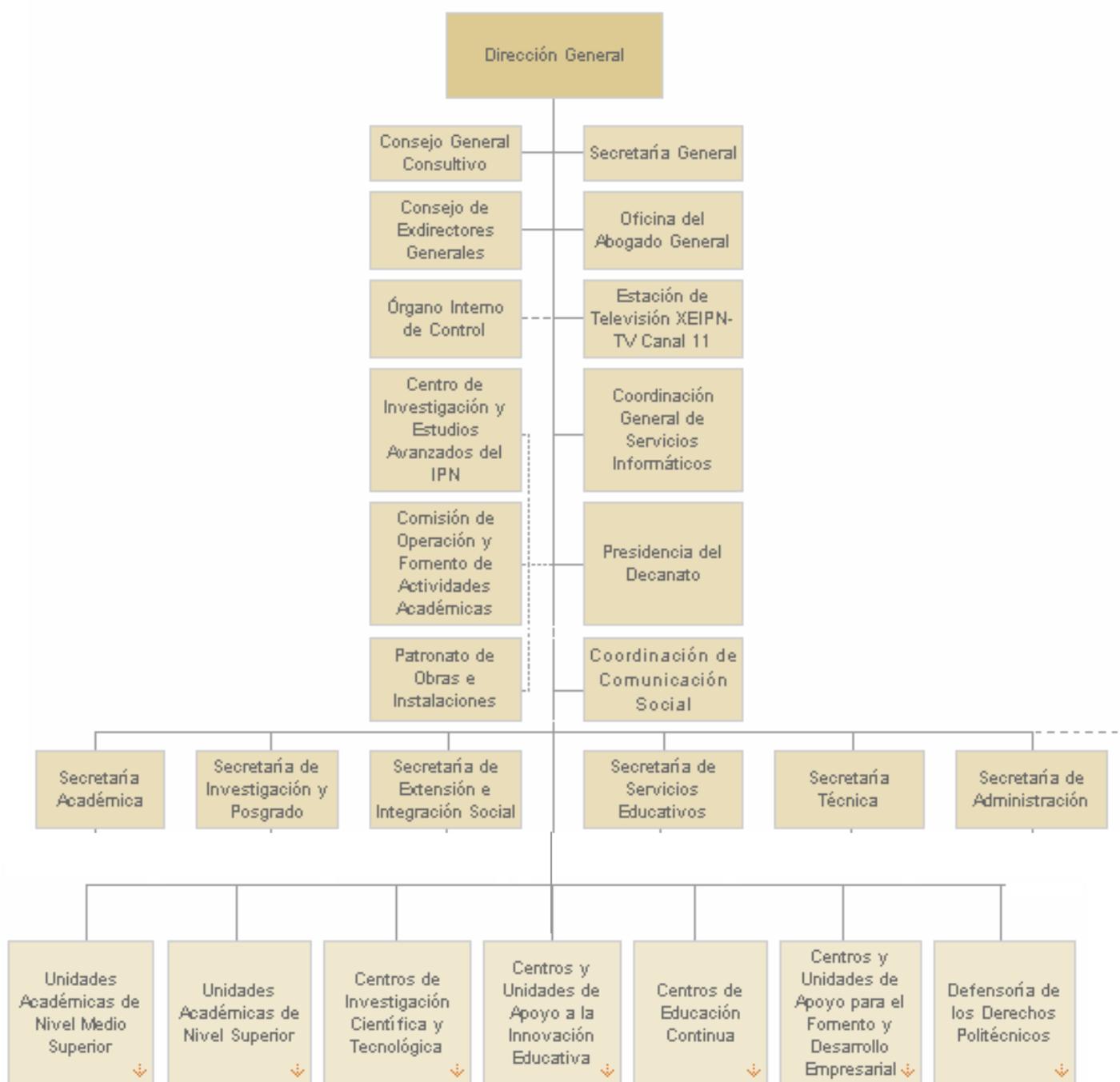


Figura 9.1 Estructura funcional del Instituto Politécnico Nacional

Fuente: www.ipn.mx

El Inventario de Gases de Efecto Invernadero del Instituto Politécnico Nacional se realiza en la Unidad Profesional “Adolfo López Mateos” (UPALM), exclusivamente en el campus “Zacatenco”.

A continuación se presentan los edificios, laboratorios y centros deportivos que integran a la Unidad Profesional Adolfo López Mateos (figura 9.2).



Figura 9.2 Vista en Planta de la Unidad Profesional "Adolfo López Mateos" del Instituto Politécnico Nacional
Fuente: Google Earth, 2008.



Figura 9.3 Vista en Planta de la zona de Edificios, Biblioteca Nacional de Ciencia y Tecnología (BNCT), etc

Fuente: Google Earth, 2008

A continuación se presenta un listado de las instalaciones que se muestran en la figura 9.3 y que se consideran en el Inventario de emisiones de GEI de la UPALM.

- | | |
|--------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. Biblioteca Nacional de Ciencia y Tecnología | 13. Edificio 3 de la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica Eléctrica (ESIME) |
| 2. Dirección de Administración Escolar | 14. Edificio 4 de la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica Eléctrica (ESIME) |
| 3. Laboratorio de la ESFM | 15. Edificio 5 de la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica Eléctrica (ESIME) |
| 4. Laboratorios Pesados | 16. Edificio 6 de la Escuela Superior de Ingeniería Química e Industrias Extractivas (ESIQIE) |
| 5. Edificio 8 de la Escuela Superior de Ingeniería Textil (ESIT) | 17. Edificio 7 de la Escuela Superior de Ingeniería Química e Industrias Extractivas (ESIQIE) |
| 6. Laboratorios de la ESFM | 18. Edificio 8 de la Escuela Superior de Ingeniería Química e Industrias Extractivas (ESIQIE) |
| 7. Subestación | 19. Edificio 9 de la Escuela Superior de Física y Matemáticas (ESFM) |
| 8. Laboratorios Pesados | |
| 9. Biblioteca de la ESFM | |
| 10. Centro Cultural "Jaime Torres Bodet" | |
| 11. Edificio 1 de la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica Eléctrica (ESIME) | |
| 12. Edificio 2 de la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica Eléctrica (ESIME) | |

En la figura 9.4 se presenta la siguiente fotografía satelital de las instalaciones de la Unidad Profesional “Adolfo López Mateos” del IPN.



Figura 9.4 Vista en Planta de edificio de la ESIA Zacatenco, ESCOM, Secretaría Académica, Secretaría Técnica, Dirección General, Gimnasio, CFIE, entre otros.

Fuente: Google Earth, 2008

-
- | | |
|------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|
| 20. Centro de Lenguas Extranjeras Unidad Zacatenco (CENLEX Zacatenco) | 33. Edificio Anexo E.S.I.A. Zacatenco |
| 21. Planetario | 34. Centro de Apoyo a Estudiantes |
| 22. Gimnasio Zacatenco | 35. Secretaría de Extensión e Integración Social |
| 23. Actividades deportivas | 36. Secretaría Académica |
| 24. Estadio Wilfredo Massieu | 37. Dirección General del IPN |
| 25. Cancha de Frontón | 38. Secretaría de Apoyo |
| 26. Centro de Formación e Innovación Educativa (CFIE) | 39. Secretaría Técnica |
| 27. Unidad Profesional de Desarrollo y la Competitividad Empresarial (UPDEC) | 40. Patronato de Obras e Instalaciones (POI) |
| 28. Campamento "Pielas Rojas" | 41. Edificio Inteligente del IPN |
| 29. Biblioteca E.S.I.A. Zacatenco | 42. Escuela Nacional de Ciencia Biológicas |
| 30. Laboratorios E.S.I.A. Zacatenco | 43. Bodega |
| 31. Laboratorio de Hidráulica de la E.S.I.A. | 44. Planta de Composta |
| 32. Edificios 9, 10, 11 Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura U. Zacatenco | 45. Escuela Superior de Cómputo |
| | 46. Centro de Investigación en Computación (CIC) |
| | 47. Centro de Innovación y Desarrollo Tecnológico en Cómputo CIDETEC |

9.2 Determinación de los Límites Operacionales

Después de haber definido los **límites organizacionales** en términos de control y propiedad del Instituto Politécnico Nacional, se establecen sus **límites operacionales**. Esto involucra identificar emisiones asociadas a sus operaciones clasificándolas como emisiones directas o indirectas, y seleccionar el alcance de contabilidad y reporte para las emisiones indirectas.³⁴

Las emisiones directas de GEI son emisiones de fuentes que están controladas por el IPN y las emisiones indirectas de GEI son emisiones consecuencia de sus actividades, pero que ocurren en fuentes que son propiedad del mismo.

9.2.1 Alcance de emisiones.

Para ayudar a delinear las fuentes de emisiones directas e indirectas, mejorar la transparencia, y proveer utilidad para el Instituto se definen tres "alcances" para propósitos de reporte y contabilidad de GEI.

El alcance 1 considera emisiones directas de GEI, el alcance 2 representa emisiones indirectas de GEI asociadas a la electricidad y el alcance 3 a otras emisiones indirectas. (SEMARNAT-WBCSD, 2008).

³⁴ SEMARNAT-WBCSD (2008). "Protocolo de GEI: Estándar Corporativo de Contabilidad y Reporte". (página 35).

1) Alcance 1: Emisiones directas de GEI.

Las emisiones directas de GEI del Instituto Politécnico Nacional son resultado de las siguientes actividades:

- **Combustión estacionaria:** En algunas dependencias politécnicas de la Unidad Adolfo López Mateos se cuenta con: plantas de emergencia para la generación de electricidad las cuales utilizan motores a diesel y a gasolina.
- **Combustión Móvil:** En este tipo de emisiones se considera las actividades de transporte de alumnos y docentes en vehículos propiedad del IPN, estas emisiones resultan de la combustión de combustibles en fuentes móviles (autobuses y camiones) que son propiedad del IPN.

2) Alcance 2: Emisiones indirectas de GEI asociadas al consumo de electricidad.

Las emisiones que se reportan en este alcance son las generadas por el consumo de electricidad adquirida que se requieren para las siguientes operaciones:

- * Iluminación
- * Uso de computadoras
- * Refrigeradores
- * Motores
- * Laboratorios

3) Alcance 3: Otras emisiones indirectas asociadas a la transmisión y distribución.

Dentro de las diferentes categorías de emisiones indirectas alcance 3 de carácter opcional, se decidió contabilizar las emisiones derivadas de viajes aéreos nacionales e internacionales en vuelos comerciales realizadas por los funcionarios y docentes del IPN, debido a que se tienen datos suficientes y confiables para contabilizar las emisiones.

Asimismo se contabilizan los vehículos particulares de los alumnos, personal administrativo, plantilla docente, visitantes, contemplando la capacidad de los estacionamientos de cada edificio así como un recorrido promedio. Es importante mencionar que el IPN tiene tres periodos vacacionales al año, de manera que aproximadamente en seis semanas las actividades se suspenden y consecuentemente las emisiones son prácticamente nulas.

9.2.2 Elección del año base.

El año base se elige para poder evaluar las emanaciones de GEI a través del tiempo y porque en ese mismo año se puede acceder a la información más completa y confiable. En este trabajo de tesis se reportan las emisiones de GEI del campus Zacatenco del IPN en el año 2008.

9.2.3 Identificación de las Emisiones de GEI

Después de haberse realizado la elección del año base, se debe de realizar la identificación de las emisiones de GEI a través de la categorización de fuentes emisoras, las cuales se dividen de la siguiente manera:

1. Fuentes de combustión fija: Se refieren a la quema de combustibles para generar electricidad, vapor, calor o energía en equipos estacionarios o fijos como: calderas, hornos, etc.
2. Fuentes de combustión móvil: Se refieren a la quema de combustibles por parte de vehículos automotores y aeronaves.

La tabla 19 especifica la categorización de emisiones de gases de efecto invernadero por tipo de fuente y actividad.

Tabla 19. Alcance de Emisión por tipo de fuente en el Inventario de GEI del estudio de caso

Alcances	Actividad	Fuentes
Alcance 1 Emisiones directas	Combustión fija:	
	Plantas de emergencia para la generación de electricidad	Motores a diesel y a gasolina
	Combustión móvil:	
	Transporte de personas y otros usos	Camiones, autobuses propiedad del Instituto para el transporte de los alumnos, personal y materiales. (Combustible: diesel).
Alcance 2 Emisiones indirectas	Consumo de electricidad	Iluminación
		Uso de computadoras
		Refrigeradores
		Motores
		Laboratorios
		Otros
Alcance 3 Emisiones indirectas opcionales	Combustión móvil:	
	Vehículos particulares: Automóviles y camiones ligeros de la plantilla docente y empleados.	Combustible: Gasolina y gas licuado de petróleo
	Viajes de empleados	Viajes aéreos nacionales e internacionales

9.3 Cálculo de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI)

9.3.1 Selección de un método de cálculo

Después de haber identificado las emisiones de GEI, se procede a la selección de un método de cálculo que permita estimar dichas emanaciones.

En este trabajo de tesis, se aplicarán los métodos de cálculo elaboradas por el Consejo Mundial para Desarrollo Sustentable y por el Instituto de Recursos Mundiales, que se encuentran en la página del Protocolo de Gases de Efecto Invernadero (www.ghgprotocol.org/calculation-tools). Es importante mencionar que los métodos de cálculo que se aplican en este trabajo, cumplen con los lineamientos del IPCC, los cuales señalan la utilización de factores o cocientes calculados que relacionan las medidas de GEI con el tipo de fuente de emisión.

El IPN se puede clasificar según los criterios del Protocolo de Gases de Efecto Invernadero en el sector de servicios y organizaciones basadas en oficinas, por el tipo de emisiones que el Instituto emite se eligieron los siguientes métodos de cálculo:

Tabla 20. Herramientas de cálculo por tipo de alcance de emisión a utilizar en el Inventario de GEI del Caso de Estudio

Alcances	Actividad	Métodos de Cálculo
Alcance 1 Emisiones directas	Combustión fija:	
	Plantas de emergencia para la generación de electricidad	Emisiones de dióxido de carbono en la quema de combustibles
	Combustión móvil:	
	Transporte de personas y otros usos	Emisiones de dióxido de carbono en la quema de combustibles por fuentes móviles
Alcance 2 Emisiones indirectas	Consumo de electricidad	Emisiones indirectas de dióxido de carbono por electricidad comprada
Alcance 3 Emisiones indirectas opcionales	Combustión móvil:	
	Vehículos particulares: Automóviles de plantilla docente y empleados.	Otras emisiones de dióxido de carbono por viajes particulares de empleados.
	Viajes aéreos de empleados	Otras emisiones de dióxido de carbono por viajes aéreos de negocios

9.3.2 Recolección de datos

Para poder obtener la información indispensable para el desarrollo del Inventario de GEI, se elaboró la lista que se presenta a continuación, que se presentó a la Dirección de Recursos Materiales y Servicios y a la Dirección de Recursos Financieros que se encargan de llevar el control de este tipo información, cabe señalar que estas direcciones dependen de la Secretaría de Administración del IPN.

Información correspondiente al año base del inventario (2008).

1. Cantidad y tipo de vehículos propiedad del IPN (camiones, autobuses, automóviles), que fueron utilizados para el transporte de personal, alumnos, materiales, etc.
2. Consumo de combustibles (gasolina y diesel) por los vehículos propiedad del IPN, en litros.
3. Consumo de gas licuado de petróleo en tanques estacionarios y consumo de diesel para plantas de emergencia en la Unidad Profesional “Adolfo López Mateos”, Zacatenco.
4. Uso de extintores, por tipo de extintor, material de consumo en kilogramos.
5. Consumo de energía eléctrica en la Unidad Profesional “Adolfo López Mateos”, Zacatenco.
6. Cantidad de Viajes Aéreos Nacionales e Internacionales utilizados por los funcionarios y docentes del IPN.

9.3.3 Cálculo de Emisiones

Alcance 1. Emisiones directas de GEI

Las emisiones directas de la Unidad Profesional Adolfo López Mateos incluyen emisiones por combustión fija y móvil. A continuación se describen los datos de actividad requeridos, así como el método de cálculo y los factores de emisión que se emplearon.

a) Combustión Fija:

Los datos que se requieren para la estimación de las emisiones directas por combustión fija, son el consumo de combustibles (diesel y gas LP) en equipos de combustión estacionaria (motores a diesel, calentadores de agua, estufas, etc.) en kilogramos, que se presentan en la tabla 21.

Tabla 21. Consumo de gas licuado propano en kilogramos en dependencias politécnicas

Unidad Politécnica	Consumo de Gas Licuado Kilogramos
División de Servicios Generales	17643
Residencia para Investigadores Visitantes	7598
Dirección General	8658
	33899

En la Unidad Profesional “Adolfo López Mateos” se encuentran instaladas plantas de emergencia para generación de electricidad las cuales consumen diesel. A continuación se presentan la tabla 22 que muestra las dependencias politécnicas en donde están instaladas dichas plantas y su consumo de diesel en kilogramos.

Tabla 22. Consumo de diesel en kilogramos en dependencias politécnicas

Unidad Politécnica	Consumo de Diesel kilogramos
Dirección General	168
Biblioteca Nacional de Ciencia y Tecnología	672
Edificio Inteligente	168
CENLEX	176,4
	1185

- **Factores de Emisión**

Los factores de emisión que se utilizan son los que proporciona las Directrices del IPCC para la elaboración de inventarios de emisiones de GEI nacionales el IPCC en el año 2006 que se presentan en la tabla 23.

Tabla 23. Factores de emisión por tipo de combustible.

Tipo de Combustible	Factores de emisión
FE CO ₂ diesel =	74.1 kg CO ₂ /kg. de diesel
FE CH ₄ diesel =	0.003 kg CH ₄ / kg. de diesel
FE N ₂ O diesel =	0.0006 kg N ₂ O/ kg. de diesel
FE CO ₂ GLP =	63.1 kg CO ₂ / kg. de diesel
FE CH ₄ GLP =	0.001 kg CH ₄ / kg. de diesel
FE N ₂ O GLP =	0.0001 kg N ₂ O/ kg. de diesel

Fuente: IPCC (2006). Metodología del IPCC 2006, tabla 2.6.

Para determinar las emisiones de CO₂ por combustión fija se utilizó el método de cálculo proporcionado por la Iniciativa del Protocolo de GEI llamada: “Emisiones de dióxido de carbono en la quema de combustibles, versión 2007”.

- **Cálculo de emisiones directas de GEI**

Tabla 24. Emisiones de dióxido de carbono en unidades equivalentes de CO₂ por la quema de combustibles.

				Factores de Emisión			Emisiones calculadas			
				kg CO ₂ /GJ	kg CH ₄ /GJ	kg N ₂ O/GJ	tonelas métricas			Unidades equivalentes de CO ₂
Fuente	Tipo de Combustible	Consumo	Unidades	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	Emisiones Totales
Consumo de Gas Licuado Propano	Gas Licuado Propano	33,899.0000	kg	63.1000	0.0000	0.0000	2,139.0269	0.0000	0.0000	2,139.0269
Plantas de emergencia	Diesel	1,185.0000	kg	74.1000	0.0000	0.0000	87.8085	0.0000	0.0000	87.8085
							0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
							0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
							0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
							0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Emisiones totales de dióxido de carbono equivalente:							2,226.8354	0.0000	0.0000	2,226.8354

Utilizando la metodología de cálculo del Protocolo de GEI, se estima que las emisiones totales en el año 2008, son de 2226.8354 kg. de CO₂ ó 2.22 toneladas de CO₂.

Por otro lado, las emisiones de CH₄ y N₂O se calcularon utilizando la siguiente ecuación:

$$Emisiones\ de\ CO_2 = CC * FE \quad (11)$$

Donde:

CC= Consumo de combustible *i*

FE= Factor de emisión de emisión del combustible *i*

Tabla 25. Emisiones de metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O) en unidades equivalentes de CO₂ por la quema de combustibles

Fuente	Tipo de Combustible	Consumo	Unidades	Factores de Emisión		Unidades equivalentes de CO ₂	Emisiones Totales de CH ₄	Emisiones Totales de N ₂ O
				kg CH ₄ /GJ	kg N ₂ O/GJ	Emisiones Totales	Emisiones Totales	Emisiones Totales
Consumo de Gas Licuado Propano	Gas Licuado Propano	33,899.0000	kg	0.0010	0.0001	2,139.0269	2.1390	0.2139
Plantas de emergencia	Diesel	1,185.0000	kg	0.0030	0.0006	87.8085	0.2634	0.0527
						0.0000	0.0000	0.0000
						0.0000	0.0000	0.0000
						0.0000	0.0000	0.0000
Emisiones Totales de metano y óxido nitroso						0.0000	2.4025	0.2666

Las emisiones de metano (CH₄) se estiman en 2.4025kg y las de óxido nitroso (N₂O) se estiman en 0.266 kg unidades de CO₂, es decir 0.024 ton y 0.00026ton de N₂O tal y como se muestra en la tabla anterior.

b) Combustión móvil

Transporte del personal, alumnos en vehículos propiedad del IPN.

Para el cálculo de las emisiones de CO₂ derivadas del transporte del personal y alumnos en vehículos propiedad del IPN, se requiere información relacionada con el tipo de vehículos y la distancia recorrida anualmente en kilómetros.

El IPN, cuenta con 94 autobuses, 86 autobuses se utilizan para recorridas largas distancias y 8 de estos dan servicio en la zona metropolitana del Valle de México; estos vehículos recorrieron una distancia promedio de 12500km en el año 2008.

A continuación se presenta el cálculo de las emisiones de CO₂ en toneladas provenientes del transporte del personal y de alumnos en vehículos que son propiedad del IPN.

- **Factores de emisión**

El factor de emisión que se utiliza es el que proporciona las Directrices del IPCC para la elaboración de inventarios nacionales de Gases de Efecto Invernadero del año 1996 para contabilizar las emisiones de autobuses de larga distancia que utilizan diesel como combustible.

FE Autobús de larga distancia a diesel= 0.0485 kg de CO₂ / km recorrido

FE Autobús de tránsito urbano a diesel= 0.1862 kg de CO₂ / km recorrido

- **Cálculo de emisiones directas de GEI**

A continuación se presenta el cálculo de las emisiones en la tabla 26, en donde se multiplican los kilómetros recorridos de cada autobús por el factor de emisión presentado anteriormente.

Tabla 26. Emisiones directas de GEI por combustión móvil

Descripción de la Fuente	Número de Vehículos	Transporte terrestre			Emisiones de CO ₂	
		Descripción del Transporte	Datos de la Actividad	Unidades de la actividad	kg CO ₂ por unidad	Emisiones Totales
					Default CO ₂ /km	ton métricas F = CxE/1000
Flota de autobuses IPN	86	Autobus de larga distancia (diesel)	12500	kilometros recorridos	0.0485	51.6
Flota de autobuses IPN	8	Autobus de tránsito urbano (diesel)	12500	kilometros recorridos	0.1862	18.62
Emisiones totales con respecto a la distancia recorrida por lo vehículos propiedad del IPN						70.20

Las emisiones que se generaron por concepto del transporte en vehículos propiedad del IPN en el año 2008, fueron de 70.20 toneladas de CO₂.

Alcance 2. Emisiones indirectas de GEI por electricidad comprada:

Las emisiones indirectas de dióxido de carbono resultan del consumo de energía eléctrica en las diferentes dependencias de la Unidad Profesional “Adolfo López Mateos”. Para poder estimar estas emisiones indirectas se requiere de conocer el consumo de electricidad mensual en KW y de un factor de emisión.

- **Factor de emisión.**

El factor de emisión utilizado es el que proporcionan las Directrices del IPCC para la elaboración de inventarios nacionales de GEI para estimar las emisiones indirectas de dióxido de carbono.

$$FE_{CO_2 \text{ electricidad}}(2006) = 528.3 \text{ g } CO_2/kWh$$

Fuente: IPCC (2006) “Directrices del IPCC para la elaboración de inventarios nacionales de GEI”, Energía, p.56

- **Datos de la actividad**

Tabla 27. Consumo de electricidad en el año 2008 del caso de estudio

Unidad Politécnica	KW Enero	\$	KW Febrero	\$	KW Marzo	\$
Unidad Profesional "Adolfo López Mateos"	599000	956376	644000	1035208	665000	1084726
Centro de Formación e Innovación Educativa (CFIE)	41400	71795	42600	71340	47400	79191
Estadio Wilfrido Massieu	53025	23943	55312	24976	55000	102041
Residencia para Investigadores	11700	20449	11340	20637	7680	14052

KW Abril	\$	KW Mayo	\$	KW Junio	\$	KW Julio	\$	KW Agosto	\$
636000	1050829	684300	1159036	648000	1128192	573000	1087382	622000	1231451
43800	75504	54300	89079	51900	84625	57300	93919	43500	79159
44292	20000	50160	24000	33000	65793	24000	54824	26900	62597
11700	21993	11340	22068	168900	410490	14580	35195	13680	33832

KW Septiembre	\$	KW Octubre	\$	KW Noviembre	\$	KW Diciembre	\$	KW/año	\$
613000	1226952	603000	1268547	615000	1314454	613000	1273462	7515300	13816615
54400	95813	55299	109221	53100	112874	54000	329145	598999	1291665
27900	64672	26000	63845	27000	66859	27000	64537	449589	638087
11700	20449	11340	20637	7680	14052	11700	21983	293340	655837
Total								8857228	16402204

De acuerdo a la información anteriormente presentada, en la Unidad Profesional “Adolfo López Mateos”, el consumo total de energía eléctrica es el siguiente:

Consumo Total de Energía Eléctrica	8857228 kw/año
-------------------------------------------	----------------

- **Cálculo de emisiones**

Posteriormente se procede al cálculo utilizando el método de cálculo denominado: “Emisiones de dióxido de carbono por el consumo de electricidad comprada”. Esta es una hoja de cálculo de Microsoft Excel, la cual requiere de dos datos principales: el consumo de energía en Kw/hora y un factor de emisión, referido a la emanación de gramos de dióxido de carbono por un kilowatt hora que se considera de 528.3 gramos de CO₂/KWh. A continuación se presenta el cálculo en donde se procesó la información antes mencionada.

Tabla 28. Emisiones indirectas por consumo de electricidad adquirida

	Paso 1	Paso 2	Paso 3
	A*	B*	C
	Consumo de Energía Eléctrica	Factor de emisión del CO ₂	Emisiones indirectas en toneladas de CO ₂
	Unidad	Unidad	$C = A * B / 1,000,000$
	kWaño	gramos CO ₂ / kWh	Ton de CO ₂
Fuente de Emisión			
Consumo total	8857228,00	528,30	4.679,27
Emisiones totales en toneladas de CO₂			4.679,27

Como resultado se obtuvo que se emitieron 4679.27 toneladas de CO₂ en el año 2008.

Alcance 3: Emisiones indirectas de GEI

Con respecto al cálculo de las emisiones indirectas relacionadas con actividades de transmisión y distribución, se decidió contabilizar las emisiones derivadas de viajes aéreos nacionales e internacionales en vuelos comerciales realizadas por los funcionarios y docentes del IPN.

También se contabilizan las emisiones de vehículos particulares de los alumnos, personal administrativo, plantilla docente, visitantes, contemplando la capacidad de los estacionamientos de cada edificio y un recorrido promedio diario.

a) Viajes del personal docente, administrativos, funcionarios y alumnos de sus domicilios al Instituto.

Para estimar las emisiones de GEI relacionadas con los viajes del personal docente, administrativos y alumnos de sus domicilios a la Unidad Profesional “Adolfo López Mateos”, se utiliza la metodología que proporciona el Protocolo de GEI del año 2005, para la utilización de esta metodología de cálculo se requiere de la siguiente información:

- **Número y tipo de vehículos.**

El número y tipo de vehículos, se determinó mediante un aforo de automóviles en los estacionamientos de la Unidad Profesional “Adolfo López Mateos” que se realizó los días 10, 11 y 12 de junio de 2009, donde se determinó que existen 4983 cajones de estacionamiento, y que la ocupación de estos es de aproximadamente 85%. Se estimó que llegan diariamente 3314 automóviles ligeros que utilizan gasolina y 174 camiones ligeros a gasolina, como lo muestra la tabla 27.

Tabla 29. Número y tipo de vehículos en los estacionamientos de la Unidad Profesional “Adolfo López Mateos”

Número	Dependencia	Número de Cajones de Estacionamiento	Número de vehículos estacionados	Vehículos ligeros a gasolina	Camiones ligeros a gasolina
1	Biblioteca Nacional de Ciencia y Tecnología y Centro Cultural "Jaime Torres Bodet"	400	340	323	17
2	Dirección de Administración Escolar Laboratorios Pesados, ESIT, Laboratorios ESFM, Biblioteca ESFM.	350	245	233	12
3	Edificio 1 de la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica Eléctrica (ESIME)	166	116	110	6
4	Edificio 2 de la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica Eléctrica (ESIME)	119	83	79	4
5	Edificio 3 de la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica Eléctrica (ESIME)	119	83	79	4
6	Edificio 4 de la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica Eléctrica (ESIME)	119	83	79	4
7	Edificio 5 de la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica Eléctrica (ESIME)	119	83	79	4
8	Edificio 6 de la Escuela Superior de Ingeniería Química e Industrias Extractivas (ESIQIE)	119	83	79	4
9	Edificio 7 de la Escuela Superior de Ingeniería Química e Industrias Extractivas (ESIQIE)	119	83	79	4
10	Edificio 8 de la Escuela Superior de Ingeniería Química e Industrias Extractivas (ESIQIE)	119	83	79	4
11	Edificio 9 de la Escuela Superior de Física y Matemáticas (ESFM)	119	83	79	4
12	Centro de Lenguas Extranjeras Unidad Zacatenco (CENLEX Zacatenco) y Planetario	100	70	67	4
13	Gimnasio Zacatenco, Actividades Deportivas y Campo de Basebol	256	179	170	9
14	Estadio Wilfrido Massieu, Cancha de Frontón	140	98	93	5
15	Centro de Formación e Innovación Educativa (CFIE) y Unidad Profesional de Desarrollo y la Competitividad Empresarial (UPDEC)	130	91	86	5
16	Campamento “Burros Blancos”	130	91	86	5
17	Edificios 9, 10, 11 Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura U. Zacatenco	386	270	257	14
18	Secretaría de Extensión e Integración Social	130	91	86	5
19	Secretaría Académica	130	91	86	5
20	Dirección General del IPN, Secretaría Académica	515	361	342	18
21	Secretaría de Apoyo, Secretaría Técnica, POI	344	241	229	12
22	Edificio Inteligente del IPN	100	70	67	4
23	Escuela Nacional de Ciencia Biológicas	170	119	113	6
24	Escuela Superior de Cómputo	84	59	56	3
25	Centro de Investigación en Computación (CIC)	250	175	166	9
26	Centro de Innovación y Desarrollo Tecnológico en Cómputo CIDETEC	250	175	166	9
Total		4983	3488	3314	174

- **Recorrido promedio diario de cada vehículo**

Los datos de la actividad vehicular, se refieren a la distancia total promedio recorrido por cada tipo de vehículo en kilómetros por día. Para obtener esta información se consultó el “Reporte Final de la Actividad y Emisiones Vehiculares en la Zona Metropolitana del Valle de México”³⁵, donde se presenta la estimación de los kilómetros recorridos diarios promedio en la Zona Metropolitana del Valle de México.

Tabla 30. Kilómetros recorridos promedio diarios

Grupo de año modelo	Kilómetros recorridos promedio diarios
1988 y anteriores	22.78
1989 a 1992	31.92
1993	33.06
1994	33.76
1995	35.37
1996 y posteriores	35.84

Fuente: SEMARNAT-INE (2007). “Reporte Final de la Actividad y Emisiones Vehiculares en la Zona Metropolitana del Valle de México”, p. 65.

En este trabajo de tesis se considera un recorrido promedio diario de 35.12 km por cada vehículo.

- **Número de días laborales al año, en donde se consideran los periodos vacacionales y los fines de semana.**

De acuerdo con el criterio de las Directrices para la elaboración de inventarios de emisiones de GEI nacionales del IPCC, una persona que trabaja tiempo completo en cualquier instituto o empresa, labora 230 días al año o 46 semanas; en el Instituto Politécnico Nacional existen dos periodos vacacionales al año, los cuales representan 6 semanas de actividad prácticamente nula. De acuerdo con esta consideración, se estima que el personal docente, los alumnos y trabajadores viajan a las instalaciones de la Unidad Profesional “Adolfo López Mateos” 40 semanas o 200 días al año.

³⁵ SEMARNAT-INE (2007). “Reporte Final de la Actividad y Emisiones Vehiculares en la Zona Metropolitana del Valle de México”, p. 63.

- **Eficiencia del tipo de combustible utilizado en millas por galón**

La eficiencia del combustible es un dato fundamental para la estimación de las emisiones de dióxido de carbono, estos datos se obtuvieron de las estadísticas realizadas por la EPA en el año de 2001, que se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 31. Eficiencia del combustible en millas por galón

Tamaño del vehículo	Millas por galón (mpg)
Automóvil pequeño híbrido o eléctrico	56
Automóvil pequeño que utiliza biocombustible (circulación en autopista)	32
Automóvil pequeño que utiliza gas (circulación en ciudad)	26
Automóvil mediano que utiliza gasolina (circulación en autopista)	30
Automóvil mediano que utiliza gasolina (circulación en ciudad)	22
Automóvil grande que utiliza gasolina (circulación en ciudad)	25
Automóvil grande que utiliza diesel (circulación en ciudad)	18

Fuente: EPA (2001). Millas por gallón promedio para vehículos basados en Bases de Datos de la EPA. <http://www.epa.gov/autoemissions>

- **Factores de emisión**

Los factores de emisión que se utilizan en esta herramienta se obtienen de las estadísticas de la “Administración de la información de la Energía de Estados Unidos de América (EIA, por sus siglas en inglés).

Tabla 32. Factores de emisión por tipo de combustible utilizado

Combustible	FE Kg de CO ₂ / galón	FE Kg de CO ₂ / litro
Gasolina	8.87	2.34
Diesel	10.15	2.68

Fuente: Administración de Información de la Energía de EU (2001). “Programa de Reporte Voluntario de Inventarios de Gases de Efecto Invernadero”, Coeficiente de emisión. <http://www.eia.doe.gov/oiaf/1605.factors.html>

- **Cálculo de emisiones**

A continuación se presenta un fragmento de los cálculos necesarios para estimar las toneladas de CO₂ en el año 2008 en la tabla 33. Se consideran dos tipos de vehículos principales en el caso de estudio, es decir, vehículos ligeros a gasolina y camiones ligeros a gasolina, los cuales recorren 361557.40 y 18983 millas anuales respectivamente.

La eficiencia del combustible (gasolina) se considera de 22 y 25 millas por galón respectivamente y el número de ocupantes por cada automóvil es de una persona. El combustible total que se utiliza para el transporte de personas desde sus domicilios hasta las instalaciones de la Unidad Profesional “Adolfo López Mateos” es de 687750.53 galones de gasolina.

Tabla 33. Consumo total de combustible utilizado en el año 2008

Año: 2008			
A	B	C	D
Tipo de Vehículo	Número de Vehículos	Combustible utilizado por cada ocupante	Consumo de combustible total
Vehículos ligeros a gasolina	3,314	198.3600	657,365.0400
Camiones ligeros a gasolina	174	174.5600	30,373.4400
Consumo total de combustible en galones=			687,738.48

Para estimar las emisiones totales de CO₂, es necesario obtener la cantidad total anual de combustible en galones y multiplicarla por un factor de emisión de CO₂ el cual es de 8.71 kg de CO₂ por cada galón de gasolina consumida como se presenta a continuación.

Tabla 34. Emisiones totales en toneladas de CO₂

Año: 2008						
A	B	C	D	E	F	G
Tipo de Vehículo	Número de Vehículos	Combustible utilizado por cada ocupante	Factor de emisión	Unidad	Emisiones de CO ₂ en kilogramos F=B*C*D	Emisiones de CO ₂ en toneladas G=F/1000
Vehículos ligeros a gasolina	3,314	198.36	8.71	kg de CO ₂ / km	5,725,649.50	5,725.65
Camiones ligeros a gasolina	174	174.56	8.71	kg de CO ₂ / km	264,552.66	264.55
Emisiones de CO ₂ en toneladas						5,990.20

En la Unidad Profesional “Adolfo López Mateos” se emitieron en el año 2008 por concepto de viajes de personal y estudiantes de sus domicilios 5990.20 toneladas de CO₂.

b) Viajes aéreos nacionales e internaciones de docentes y funcionarios del I.P.N.

Las emisiones derivadas de viajes laborales en aviación comercial nacional e internacional son emisiones indirectas de CO₂ significativas. A continuación se presenta el método de cálculo utilizado, el procesamiento de la información, los criterios de clasificación de tipo de viajes con relación a la distancia y el cálculo de las emisiones.

La información se obtuvo de los registros de viajes aéreos nacionales e internacionales de la Secretaría de Administración del I.P.N., en donde se indica el origen y destino. Posteriormente se determinó la frecuencia.

Para determinar la distancia recorrida por pasajero, se consultó la calculadora de distancia de viajes aéreos nacionales e internacionales “Servicios de viajes aéreos frecuentes” (*Frequent Flyer Services*) en la página de internet: www.webflyer.com

Es importante mencionar que debido a que la mayor parte de las emisiones de CO₂ en la aviación ocurren durante el despegue y aterrizaje, las emisiones por kilómetro recorrido son mayores en viajes cortos en comparación con los viajes largos. Por esta razón, los viajes por cada pasajero se clasificaron de acuerdo a sus distancias en cortos, medianos y largos para emplear los factores de emisión correspondientes.

Tabla 35. Clasificación de viajes aéreos según distancia recorrida y factores de emisión.

Tipo de Viaje	Distancia	Factor de Emisión (FE)
Viaje corto	<500 km	0.15 kg CO ₂ /pasajero-kilómetro
Viaje Mediano	>500 km <1600	0.12 kg CO ₂ /pasajero-kilómetro
Viaje Largo	>1600 km	0.11 kg CO ₂ /pasajero-kilómetro

Fuente: WBSCD-WRI-SEMARNAT (2005). “Iniciativa del Protocolo de Gases de Efecto Invernadero”, p.41.

- **Datos de la actividad**

A continuación se presentan las tablas 36 y 37 que muestran el número de viajes aéreos nacionales e internacionales que realizaron en el año 2008 los funcionarios y docentes del IPN.

Tabla 36. Viajes Aéreos Nacionales realizados por docentes y funcionarios del IPN en el año 2008

Número de Viajes	Origen	Destino	Tipo de Viaje	Distancia recorrida por pasajero km	Factor de Emisión kg CO ₂ /pasajero-kilómetro
6	México	Cancún	Viaje Mediano	1290	0.12
1	México	Tepic	Viaje Mediano	647	0.12
14	México	Guadalajara	Viaje Corto	457	0.15
25	México	Monterrey	Viaje Mediano	711	0.12
2	México	Chetumal	Viaje Mediano	1140	0.12
3	México	Cd. Del Carmen	Viaje Mediano	800	0.12
3	México	Villa Hermosa	Viaje Mediano	682	0.12
3	México	Torreón	Viaje Mediano	813	0.12
7	México	Durango	Viaje Mediano	769	0.12
4	México	Cd. Obregón	Viaje Mediano	1410	0.12
15	México	Mazatlán	Viaje Mediano	851	0.12
10	México	Tampico	Viaje Corto	343	0.15
23	México	Tijuana	Viaje Largo	2600	0.11
14	México	Los Mochis	Viaje Mediano	1240	0.12
10	México	Culiacán	Viaje Mediano	1040	0.12
7	México	Campeche	Viaje Mediano	896	0.12
2	México	Puerto Vallarta	Viaje Mediano	658	0.12
8	México	Oaxaca	Viaje Corto	370	0.15
2	México	San Luis Potosí	Viaje Corto	360	0.15
11	México	La Paz	Viaje Mediano	1270	0.12
1	México	Colima	Viaje Corto	209	0.15
1	México	Chihuahua	Viaje Mediano	1240	0.12
4	México	Tuxtla Gutiérrez	Viaje Mediano	697	0.12
9	México	Reynosa	Viaje Mediano	747	0.12
2	México	Saltillo	Viaje Mediano	705	0.12
8	México	León/El Bajío	Viaje Corto	304	0.15
5	México	Hermosillo	Viaje Largo	1610	0.11
3	México	Acapulco	Viaje Corto	306	0.15
1	México	Manzanillo	Viaje Mediano	552	0.12
2	México	Zacatecas	Viaje Mediano	536	0.12
10	México	Veracruz	Viaje Corto	306	0.15
1	México	Agascalientes	Viaje Corto	431	0.15

 Viajes Cortos

 Viajes Medianos

 Viajes Largos

Tabla 37. Viajes Aéreos Internacionales de funcionarios y docentes del IPN en el año 2008

Número de Viajes	Origen	Destino	Tipo de Viaje	Distancia recorrida por pasajero km	Factor de Emisión kg CO ₂ /pasajero-kilómetro
1	México	Orlando	Viaje Largo	2060	0.11
2	México	San Salvador	Viaje Mediano	1260	0.12
1	México	Tokyo	Viaje Largo	11300	0.11
1	Tokyo	Los Ángeles	Viaje Largo	8790	0.11
4	México	Madrid	Viaje Largo	9060	0.11
1	México	Denver	Viaje Largo	2330	0.11
2	México	Buenos Aires	Viaje Largo	7390	0.11
1	México	Montreal	Viaje Largo	3720	0.11
2	México	Amsterdam	Viaje Largo	9210	0.11
16	México	Atlanta	Viaje Largo	2140	0.11
1	México	Punta Cana (PUJ)	Viaje Largo	3220	0.11
2	México	Londres	Viaje Largo	8900	0.11
2	México	San José	Viaje Largo	2890	0.11
1	Atlanta	Nueva York	Viaje Largo	3360	0.11
2	México	La Habana	Viaje Largo	1800	0.11
3	México	Dallas	Viaje Mediano	1510	0.12
2	México	París	Viaje Largo	9190	0.11
2	París	Ginebra	Viaje Largo	9560	0.11

 Viajes Cortos

 Viajes Medianos

 Viajes Largos

Después de haber obtenido la distancia recorrida en cada viaje, se procede a procesar la información en un método de cálculo denominado: “Otras emisiones de dióxido de carbono por viajes aéreos de negocios”, la cual clasifica los viajes en cortos, medianos y largos y calcula la distancia total en km recorrida por cada categoría.

Como se muestra en la tabla 38, la distancia recorrida en viajes cortos es de 20559km, en viajes medianos es de 129272km y en viajes largos de 233478 km, sumando un total 383309km.

Tabla 38. Distancia recorrida en vuelos nacionales por categoría de viaje

Año 2008						
Destino	Paso 1		Paso 2		Paso 3	
	A	B	C	D	E	F
Destino	Distancia por vuelo (km)	Número de vuelos	Corto? (0=Cierto) Mediano? (1=Cierto) Largo? (2=Cierto)	Vuelos Cortos (km)	Vuelos Medianos (km)	Vuelos Largos (km)
Guadalajara	457	14	0	6398	0	0
Tampico	343	10	0	3430	0	0
Oaxaca	370	8	0	2960	0	0
San Luis Potosí	360	2	0	720	0	0
Colima	209	1	0	209	0	0
León/El Bajío	304	8	0	2432	0	0
Acapulco	306	3	0	918	0	0
Veracruz	306	10	0	3060	0	0
Aguascalientes	431	1	0	431	0	0
Cancún	1290	6	1	0	7740	0
Tepic	647	1	1	0	647	0
Monterrey	711	25	1	0	17776	0
Chetumal	1140	2	1	0	2280	0
Cd. Del Carmen	800	3	1	0	2400	0
Villa Hermosa	682	3	1	0	2046	0
Torreón	813	3	1	0	2439	0
Durango	769	7	1	0	5383	0
Cd. Obregón	1410	4	1	0	5640	0
Mazatlán	851	15	1	0	12765	0
Los Mochis	1240	14	1	0	17361	0
Culiacán	1040	10	1	0	10400	0
Campeche	896	7	1	0	6272	0
Puerto Vallarta	658	2	1	0	1316	0
La Paz	1270	11	1	0	13970	0
Chihuahua	1240	1	1	0	1240	0
Tuxtla Gutiérrez	697	4	1	0	2788	0
Reynosa	747	9	1	0	6723	0
Saltillo	705	2	1	0	1410	0
Manzanillo	552	1	1	0	552	0
Zacatecas	536	2	1	0	1072	0
San Salvador	1260	2	1	0	2520	0
Dallas	1510	3	1	0	4530	0
Tijuana	2600	23	2	0	0	59802
Hermosillo	1610	5	2	0	0	8050
Orlando	2060	1	2	0	0	2060
Tokyo	11300	1	2	0	0	11300
Los Ángeles	8790	1	2	0	0	8790
Madrid	9060	4	2	0	0	36241
Denver	2330	1	2	0	0	2330
Buenos Aires	7390	2	2	0	0	14781
Montreal	3720	1	2	0	0	3720
Amsterdam	9210	2	2	0	0	18421
Atlanta	2140	16	2	0	0	34241
PUJ	3220	1	2	0	0	3220
Londres	8900	2	2	0	0	17801
San José	2890	2	2	0	0	5780
Nueva York	3360	1	2	0	0	3360
La Habana	1800	2	2	0	0	3600
París	9190	2	2	0	0	18381
Ginebra	9560	2	2	0	0	19121
Total		263	Total km	20,559	129,272	251,879

En la tabla 39 se presenta el cálculo de las emisiones indirectas por viajes aéreos nacionales e internacionales en toneladas de CO₂, donde se relacionan las distancias recorridas en kilómetros por cada tipo de viaje con los factores de emisiones presentados anteriormente.

Tabla 39. Cálculo de emisiones indirectas de dióxido de carbono por viajes aéreos de negocios

Año 2008		Paso 1		Paso 2		Paso 3		
		A	B	C	D	E	F	
Modo de Transporte	Descripción	Distancia recorrida	Unidad	Factor de Emisión (kg/km)	kg/Unidad	Emisiones de CO ₂ en kg	Emisiones en toneladas métricas de CO ₂	
						E=AxC		
Aéreo	Short Flight	20,558.7154	km	0.1500	kg/km	3,083.8073	3.0838	
	Medium Flight	129,272.4981	km	0.1194	kg/km	15,435.1363	15.4351	
	Long Flight	251,878.7643	km	0.1100	kg/km	27,706.6641	27.7067	
Emisiones totales de CO₂							46.2256	ton

Según la información procesada, las emisiones indirectas por viajes aéreos nacionales e internacionales de docentes, estudiantes y funcionarios del Instituto Politécnico Nacional en el año 2008 fueron de 44.26 toneladas de CO₂.

9.4 Reporte de Emisiones de GEI

9.4.1 Emisiones de GEI en toneladas.

Alcance 1. Emisiones directas de GEI

En el año 2008, la Unidad Profesional "Adolfo López Mateos" las emisiones directas de GEI derivadas de la combustión estacionaria de algunas unidades del Instituto Politécnico Nacional se estimaron en 2.595 toneladas de CO₂, 0.00763 toneladas de CH₄ y 0.001 toneladas de N₂O como se muestra en la siguiente tabla.

Alcance 1. Emisiones Directas

Combustión estacionaria

Las emisiones directas de GEI relacionadas con la actividad del transporte de alumnos, docentes, funcionarios en vehículos propiedad del IPN en el año 2008 fueron de 70.20 toneladas de CO₂.

Unidad Politécnica	Datos de la actividad (Consumo en toneladas)	Emisiones de CO ₂ (ton CO ₂)	Emisiones de CH ₄ (ton CH ₄)	Emisiones de N ₂ O (ton N ₂ O)
División de Servicios Generales	17,643.00 gas licuado propano	2.2268	0.0024	0.0003
Residencia para Investigadores Visitantes	7,598.00 gas licuado propano			
Dirección General	8,658.00 gas licuado propano			
Dirección General	0.168 diesel			
Biblioteca Nacional de Ciencia y Tecnología	0.672 diesel			
Edificio Inteligente	0.168 diesel			
CENLEX	0.176 diesel			

Combustión móvil

Descripción	Número de Autobuses	Distancia anual recorrida	Emisiones de CO ₂ (ton CO ₂)
Autobuses Propiedad del IPN	94.00	1,175,000.00	70.20

Alcance 2. Emisiones indirectas de GEI.

Las emisiones indirectas de GEI que se emitieron en el año 2008 por concepto del consumo de electricidad adquirida se estiman en 4679.27 toneladas de CO₂.

Alcance 2. Emisiones indirectas

Consumo de electricidad adquirida

Unidad Politécnica	Datos de la actividad (Consumo de energía eléctrica en Kwh)	Emisiones de CO ₂ (ton CO ₂)
Unidad Profesional "Adolfo López Mateos"	8,857,228.00	4679.27

Alcance 3. Otras emisiones indirectas

Las emisiones indirectas que se consideran en el alcance 3 se relacionan con los viajes de empleados y estudiantes desde sus domicilios hasta las instalaciones de la Unidad Profesional "Adolfo López Mateos" en el año que se contabilizan en 5990.20 toneladas de CO₂ e y los viajes que realizaron los alumnos, docentes, funcionarios desde sus domicilios hasta las instalaciones del caso de estudio y los viajes aéreos nacionales e internacionales que realizaron los funcionarios y docentes que se estiman en 46.22 toneladas de CO₂ durante el año 2008.

Alcance 3. Otras emisiones

Viajes del personal y estudiantes de sus domicilios a las instalaciones de la Unidad Profesional "Adolfo López Mateos"

Viajes de empleados y estudiantes desde sus domicilios hasta las instalaciones de la Unidad Profesional "Adolfo López Mateos"				
Tipo de Vehículo	Consumo de Combustible total anual (galones)	Consumo total de combustible (galones)	Emisiones de CO ₂ (ton CO ₂) por tipo de vehículo	Emisiones totales en toneladas de CO ₂
Vehículos ligeros a gasolina	687,750.53	718,123.97	5,725.65	5,990.20
Camiones ligeros a gasolina	30,373.44		264.55	

Viajes aéreos nacionales e internacionales

Viajes aéreos nacionales e internaciones de docentes y funcionarios del I.P.N.			
Tipo de Viaje	Número de Viajes	Distancia recorrida (km)	Emisiones de CO ₂ (ton CO ₂)
Viajes aéreos cortos	57	20558.71535	3.083807303
Viajes aéreos medianos	69	129272.4981	15.43513627
Viaje aéreos largos	137	251878.7643	27.70666407
			46.2256

9.4.2 Conversión de toneladas de GEI a toneladas de CO₂ equivalente.

Para poder realizar la conversión de las toneladas de GEI a toneladas de CO₂ equivalente (CO₂ e) se deben de utilizar los valores de potencial de calentamiento global recomendados por el Protocolo de GEI, que se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 40. Potencial de calentamiento global CO₂ e

Gas de Efecto Invernadero	Potencial de calentamiento global (CO ₂ e)
Dióxido de carbono (CO₂)	1
Metano (CH₄)	21
Óxido Nitroso (N₂O)	310

El total de las emisiones del caso de estudio en toneladas equivalentes de CO₂ en el año 2008 se estiman en 10,788.29.

Alcance	Toneladas CO ₂ e
Alcance 1: Emisiones Directas de CO ₂ e por combustión fija y móvil	72.6
Alcance 2: Emisiones Indirectas de CO ₂ e por consumo de electricidad adquirida	4,679.27
Alcance 3. Otras emisiones indirectas de CO ₂ e	6,036.42
Emisiones Totales	10,788.29

La distribución de las emisiones en porcentaje es el siguiente: las emisiones directas de GEI del alcance 1 representan el 0.7%, las emisiones indirectas del alcance 2 relacionadas con el consumo de electricidad adquirida representan el 43.7% y las otras emisiones indirectas analizadas en el alcance 3 representan el 55.6% de las emisiones totales estimadas en el presente inventario de emisiones de GEI, como se presenta en la figura 9.5.

Figura 9.5 Proporción de las emisiones de CO₂ e de la Unidad Profesional “Adolfo López Mateos del I.P.N.” en año 2008.

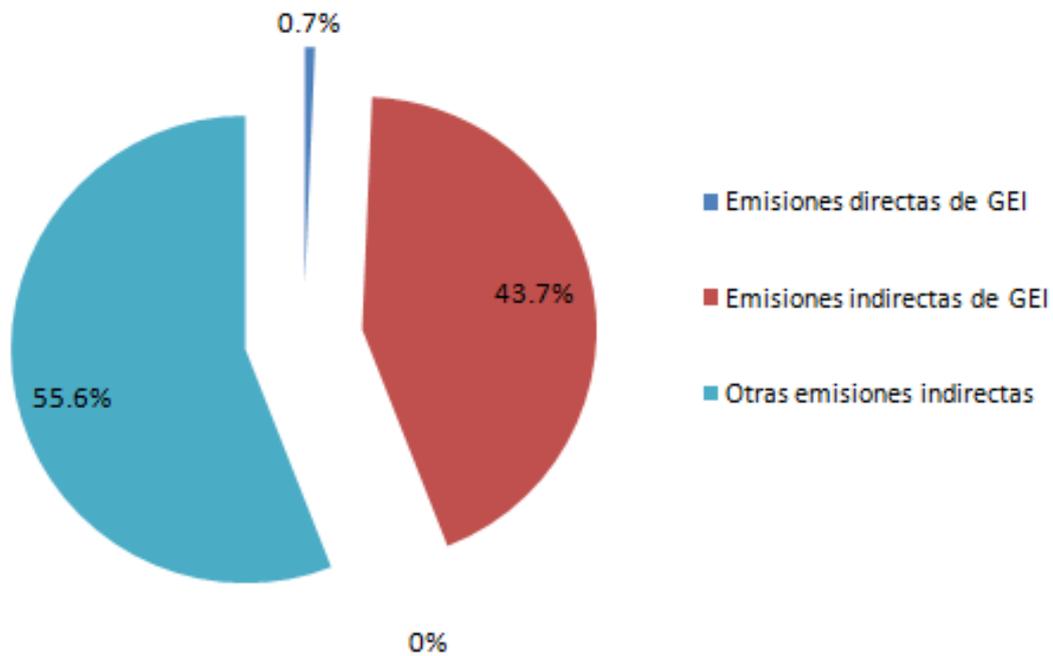
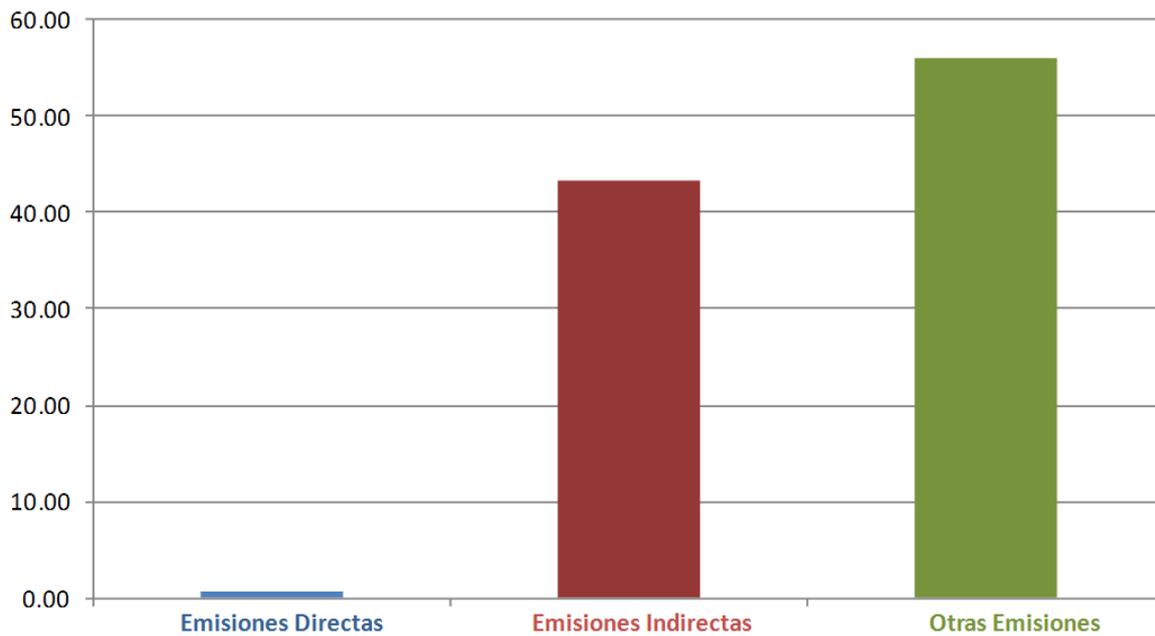


Figura 9.6 Gráfica de las emisiones totales de CO₂ e del caso de estudio en el año 2008



Capítulo 10. Estrategia de mitigación de emisiones en la Unidad

Profesional “Adolfo López Mateos” del Instituto Politécnico Nacional.

En este trabajo se desarrolla una estrategia de mitigación de emisiones de GEI, en donde se proponen líneas generales de acción climática en el IPN, ésta puede ser implementada en todos los campus y centros de investigación de la institución. Además, se establece la metodología para elaborar inventarios de emisiones de GEI, para posteriormente realizar proyectos de mitigación que pueden ser implementados en cualquier otra institución educativa del país.

A continuación se presenta la estrategia de mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero para el caso de estudio que es la Unidad Profesional “Adolfo López Mateos” del Instituto Politécnico Nacional a partir de la información de las emisiones directas e indirectas de GEI obtenidas en el Inventario de Emisiones de GEI. Se establecen una serie de medidas que tienen el objetivo de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) e incrementar los sumideros de carbono.

Según la información obtenida en el inventario, se puede concluir que las oportunidades más importantes de reducción se relacionan con el consumo de energía eléctrica adquirida y las operaciones de transporte, por lo tanto, la estrategia de reducción de emisiones de GEI en la UPALM del IPN se enfoca a dos sectores principales: energía y transporte, además se proponen algunas medidas para el mejor uso del agua, el manejo de los residuos, el aspecto forestal y la investigación en temas relacionados con el cambio climático.

10.1 Determinación de objetivos de reducción de emisiones

El establecimiento de objetivos de reducción es la etapa más importante en una estrategia de mitigación de emisiones de GEI pues estos señalan las acciones que se deberían realizar para reducirlas en el caso de estudio. Como se explica en el capítulo 8, existen dos tipos de objetivos de reducción, absoluto y de intensidad. El objetivo de reducción absoluto expresa una cantidad específica de reducción en un periodo determinado de tiempo y se expresa en toneladas anuales de CO₂e y por otro lado el objetivo de reducción de intensidad se expresa como una relación de la reducción de las emisiones de GEI en alguna variable de actividad u operación de la institución. A continuación se presentan los objetivos de reducción determinados para el caso de estudio.

10.1.1 Energía

De acuerdo con los resultados estimados en el inventario de emisiones de GEI, el consumo de energía comprada en la UPALM representa el 43.7% del total de las emisiones. El primer objetivo de esta estrategia de mitigación se enfoca a la reducción de estas emisiones indirectas de CO₂ y se presenta a continuación.

1. Reducir las emisiones indirectas de dióxido de carbono equivalente relacionadas con el consumo de energía eléctrica adquirida en la Unidad Profesional “Adolfo López Mateos” del Instituto Politécnico Nacional durante los siguientes cuatro años en los que se reducirá un 3% de las emanaciones cada año, comparándose con el año anterior en el periodo de compromiso (2008-2012).

- Descripción del objetivo:

El tipo de objetivo de reducción que se establece es de intensidad, pues estos objetivos permiten reducir las emisiones relacionadas a alguna variable representativa del nivel de la actividad del instituto, además no requieren recálculo de las emisiones del año base ante cambios estructurales y pueden facilitar la comparabilidad del desempeño entre diferentes operaciones.

El año base del objetivo será un año base móvil, es decir, se traslada hacia adelante en intervalos determinados, en este caso de un año, de tal forma que las emisiones se compararán con respecto al año anterior. La fecha de compromiso, se refiere al tipo de objetivo: a largo plazo (10 años) o de corto plazo (1 a 5 años); para este objetivo es a corto plazo en cuatro años.

El periodo de compromiso, es el intervalo de tiempo en el que se debe dar seguimiento a las emisiones con respecto al objetivo establecido y que finaliza en el periodo terminal de cumplimiento del objetivo, se apegará al periodo de vigencia del Protocolo de Kyoto (2008-2012).

- Emisiones indirectas de GEI por consumo de electricidad adquirida

Las emisiones indirectas de GEI que se emitieron en el año 2008 por concepto del consumo de electricidad adquirida se estiman en 4679.27 toneladas de CO₂.

Se espera que las emisiones del periodo de compromiso (2008-2012) se reduzcan 3% con respecto al año anterior hasta cumplir el último año de compromiso que es el año 2012. Por ejemplo, se espera que para el año 2009 se emita el 97% de las emisiones estimadas en el año 2008 y así sucesivamente como se muestra en la tabla 41.

Tabla 41. Emisiones indirectas de CO₂ e objetivo por el consumo de electricidad adquirida para el año 2012

Emisiones en toneladas de CO ₂ e en el año 2008	Objetivo de reducción	Emisiones en toneladas de CO ₂ e meta para el año 2009.	Emisiones en toneladas de CO ₂ e meta para el año 2010.	Emisiones en toneladas de CO ₂ e meta para el año 2011.	Emisiones en toneladas de CO ₂ e meta para el año 2012.
4679.27	3%	4538.63	4402.73	4270.64	4142.52

- Medidas de mitigación de emisiones de GEI

- Iluminación.

Mejorar la manera en la que se utiliza energía, racionalizando su uso es una manera simple de reducir las emisiones de GEI, a continuación se proponen algunas de las acciones que permitirían el cumplimiento de este objetivo:

- * Renovar las instalaciones eléctricas deficientes instaladas en algunas escuelas donde la conexión eléctrica no permite ahorrar, conservar o aprovechar la energía adecuadamente.
- * Apagar las luces cuando los salones, laboratorios, salas no estén ocupados.
- * Maximizar el uso de la luz solar diaria, que puede reducir la demanda de energía para iluminación y calefacción.
- * Utilizar focos fluorescentes compactos que utilizan 66% menos energía y duran diez veces más el tiempo de vida de los focos comunes incandescentes en los edificios de las dependencias politécnicas, lo que conduciría a una reducción importante de emisiones.
- * Instalar sensores de movimiento en los edificios de la Unidad Profesional, puestos estos dispositivos apagan automáticamente las luces cuando los edificios están desocupados.
- * Instalar lámparas lineales pues estos dispositivos permiten iluminar espacios eficientemente y aprovecha adecuadamente el flujo luminoso.

- Computadoras.

Las dependencias de la Unidad Profesional “Adolfo López Mateos” cuentan con un importante número de computadoras de escritorio, su uso es extensivo, por esta razón se proponen algunas medidas para lograr su uso eficiente y consecuentemente una reducción importante de emanaciones de GEI.

La mayoría de las computadoras de la Unidad Profesional, tienen características de administración de energía que le permiten al monitor y al disco duro apagarse después de un cierto periodo de tiempo de inactividad.

A continuación se presentan algunas acciones que se pueden implementar con el fin de cumplir el objetivo de reducción de emisiones en energía.

- * Reemplazar los monitores regulares de computadoras de escritorio por monitores de pantalla plana que pueden contribuir también a ahorrar energía pues los monitores de

pantalla plana utilizan aproximadamente un tercio de la energía que usan los monitores regulares.

- * Adquirir en la medida de lo posible laptops en lugar de computadoras de escritorio pues son cinco veces más eficientes en su demanda de energía.

- Edificación sustentable
 - * Incorporar prácticas de edificación verdes en nuevos proyectos de construcción que se lleven a cabo en la Unidad Profesional “Adolfo López Mateos” como la construcción del edificio de posgrado de la Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura Unidad Zacatenco, que permitirá reducir no solo las emisiones relacionadas con la energía sino también aquellas relacionadas con residuos, transporte, uso de suelo, etc.
 - * Rediseñar o mejorar las instalaciones de edificios existentes que tienen un deficiente diseño para el consumo de la energía, agua, residuos, recursos forestales, etc.

- Investigación tecnológica
 - * Fomentar la investigación de los centros de investigación o escuelas de educación superior del IPN en el desarrollo de tecnologías de baja intensidad de carbono.

10.1.2 Transporte

El transporte es una actividad fundamental, que en los últimos años ha impactado considerablemente la calidad de la Cd. de México, cada vez más personas utilizan automóviles particulares para recorrer grandes distancias emitiendo una cantidad importante de GEI. En la presente estrategia, se presentan tres objetivos de reducción para disminuir emisiones directas e indirectas de dióxido de carbono equivalente originadas por las actividades de transporte, que se presentan a continuación.

1. Reducir las emisiones indirectas de dióxido de carbono equivalente relacionadas con los viajes aéreos nacionales e internacionales de docentes y de funcionarios del Instituto Politécnico Nacional durante los siguientes cuatro años en los que se reducirá un 5% de las emanaciones cada año, comparándose con el año anterior en el periodo de compromiso (2008-2012).

- Descripción del objetivo:

El tipo de objetivo de reducción que se establece es de intensidad. El año base del objetivo será un año base móvil, que se traslada hacia delante en intervalos determinados, en este caso de un año, de tal forma que las emisiones se compararán con respecto al año anterior. La fecha de compromiso será un plazo corto de 4 años. El periodo de compromiso que es el intervalo de tiempo en el que se debe dar seguimiento a las emisiones con respecto al objetivo establecido y que finaliza en el periodo terminal de cumplimiento del

objetivo, se apegará al periodo de compromiso del Protocolo de Kyoto que analiza un periodo multianual de compromiso (2008-2012).

- **Emisiones indirectas de dióxido de carbono**

Las emisiones indirectas de dióxido de carbono estimadas para el año 2008 por concepto de viajes aéreos nacionales e internacionales que realizaron docentes y funcionarios fueron de 46.23 toneladas de CO₂.

Se espera que las emisiones del periodo de compromiso (2008-2012) se reduzcan 5% con respecto al año anterior hasta cumplir el último año de compromiso que es el año 2012. De manera que por ejemplo, se espera que para el año 2009 se emita el 95% de las emisiones estimadas en el año 2008 y así sucesivamente como se muestra en la tabla 42.

Tabla 42. Emisiones indirectas de CO₂e objetivo por los viajes aéreos nacionales e internacionales de docentes y funcionario para el año 2012

Emisiones en toneladas de CO ₂ e en el año 2008	Objetivo de reducción al	Emisiones en toneladas de CO ₂ e meta para el año 2009.	Emisiones en toneladas de CO ₂ e meta para el año 2009	Emisiones en toneladas de CO ₂ e meta para el año 2009	Emisiones en toneladas de CO ₂ e meta para el año 2009
46.26	5%	43.95	47.74	39.66	37.68

- Medidas de mitigación de emisiones para los viajes aéreos de docentes y funcionarios.
 - * Realizar las juntas o reuniones de negocios utilizando las tecnologías de las telecomunicaciones como: la telefonía y los sistemas de video conferencias por internet; para evitar el desplazamiento de personas de un lugar a otro, así como los gastos que genera un viaje de negocios tales como: alojamiento en hoteles, pago de viáticos, etc.
 - * Reducir el número de viajes aéreos que se realizan reduciendo en lo posible el número de personas que viajan en avión y procurar utilizar otros medios de transporte

2. Reducir las emisiones de dióxido de carbono relacionadas con las actividades de transporte de alumnos y docentes en vehículos propiedad del Instituto Politécnico Nacional durante los siguientes cuatro años en los que se reducirá un 2% de las emanaciones cada año, comparándose con el año anterior en el periodo de compromiso (2008-2012).

- **Descripción del objetivo**

El tipo de objetivo de reducción que se establece es de intensidad. El año base del objetivo será un año base móvil, que se traslada hacia delante en intervalos determinados, en este caso de un año, de tal forma que las emisiones se compararán con respecto al año anterior. La fecha de compromiso será un plazo corto de 4 años y el periodo de compromiso se apegará al periodo de compromiso del Protocolo de Kyoto que analiza un periodo multianual de compromiso (2008-2012).

- **Emisiones indirectas de dióxido de carbono**

Las emisiones directas de GEI relacionadas con la actividad del transporte de alumnos, docentes, funcionarios en vehículos propiedad del IPN en el año 2008 fueron de 70.20 toneladas de CO₂.

Se espera que las emisiones del periodo de compromiso (2008-2012) se reduzcan 2% con respecto al año anterior hasta cumplir el último año de compromiso que es el año 2012. De manera que por ejemplo, se espera que para el año 2009 se emita el 98% de las emisiones estimadas en el año 2008 y así sucesivamente como se muestra en la tabla 43.

Tabla 43. Emisiones directas de CO₂e objetivo por el transporte de personas y materiales en vehículos propiedad del IPN para en el año 2012

Emisiones en toneladas de CO₂e en el año 2008	Objetivo de reducción al	Emisiones en toneladas de CO₂e meta para el año 2009.	Emisiones en toneladas de CO₂e meta para el año 2010.	Emisiones en toneladas de CO₂e meta para el año 2011.	Emisiones en toneladas de CO₂e meta para el año 2012.
70.20	2%	68.79	67.42	68.07	64.75

- **Medidas de mitigación de emisiones para los viajes aéreos de docentes y funcionarios.**
 - * Procurar que la flota de vehículos propiedad del Instituto Politécnico Nacional utilice combustibles alternativos como biodiesel y etanol.
 - * Entrenar a los choferes de los vehículos para que manejen eficientemente, lo que puede reducir considerablemente el consumo de combustible.
 - * Asegurar que los camiones de carga propiedad del IPN estén completamente llenos de personas o de materiales para minimizar el número de viajes así como diseñar las rutas más cortas en sus recorridos.

3. Reducir las emisiones de dióxido de carbono impulsando el transporte público que se ofrece en la Unidad Profesional “Adolfo López Mateos”, en los próximos cuatro años en los que se reducirá un 6% de las emanaciones cada año, comparándose con al año anterior en el periodo de compromiso (2008-2012).

- Descripción del objetivo

El tipo de objetivo de reducción que se establece es de intensidad. El año base del objetivo será un año base móvil, que se traslada hacia delante en intervalos determinados, en este caso de un año, de tal forma que las emisiones se compararán con respecto al año anterior. La fecha de compromiso será un plazo corto de 4 años y el periodo de compromiso se apegará al periodo de compromiso del Protocolo de Kyoto que analiza un periodo multianual de compromiso (2008-2012).

- Emisiones indirectas de dióxido de carbono equivalente relacionadas

Las emisiones indirectas que se consideran en el alcance 3 se relacionan con los viajes de empleados y estudiantes desde sus domicilios hasta las instalaciones de la Unidad Profesional “Adolfo López Mateos” en el año que se contabilizan en 5990.20 toneladas de CO₂e. Se espera que las emisiones del periodo de compromiso (2008-2012) se reduzcan 6% con respecto al año anterior hasta cumplir el último año de compromiso que es el año 2012. Se espera que para el año 2009 se emita el 98% de las emisiones estimadas en el año 2008 y así sucesivamente como se muestra en la tabla 44.

Tabla 44. Emisiones indirectas de CO₂ objetivo por los viajes de estudiantes, docentes y empleados del IPN de sus casas a las instalaciones de la Unidad Profesional “Adolfo López Mateos” para el año 2012

Emisiones en toneladas de CO ₂ e en el año 2008	Objetivo de reducción al 2009	Emisiones en toneladas de CO ₂ e meta para el año 2009.	Emisiones en toneladas de CO ₂ e meta para el año 2009.	Emisiones en toneladas de CO ₂ e meta para el año 2009.	Emisiones en toneladas de CO ₂ e meta para el año 2009.
5990.20	6%	5630.89	5630.89	5630.89	5630.89

- Medidas de mitigación de emisiones.

- * Fomentar el uso eficiente del transporte público que utilizan los alumnos, docentes y empleados para desplazarse desde sus domicilios hasta las instalaciones de la Unidad Profesional “Adolfo López Mateos”, para disminuir el consumo de energía por persona transportada y por kilómetro recorrido.
- * Ofrecer apropiados sistemas de transporte colectivo para moderar y reducir la tasa de crecimiento del uso del automóvil particular, con la consecuente disminución en el consumo de combustibles y de emisiones de CO₂.

-
- * Mantener en óptimas condiciones de mantenimiento y operación los medios de transporte público que se ofrecen internamente en las instalaciones que se componen de un sistema de microbuses y autobuses y un sistema de trolebús que desplazan a los estudiantes y empleados a estaciones de metro más cercanos a las instalaciones.

10.1.3 Agua

Uso eficiente de agua en el campus Zacatenco

Es importante mencionar que en el inventario de emisiones de GEI que se presenta en el capítulo 9 de este trabajo de tesis no se estimaron emisiones de GEI relacionadas con aguas residuales. Sin embargo, se considera que es fundamental proponer las siguientes acciones que pueden mejorar sustancialmente la manera en la que se utiliza el líquido.

- **Captación de aguas pluviales.** Las características del agua de lluvia la hacen perfectamente utilizable para uso doméstico, industrial y agrícola. Las instalaciones para la captación consisten básicamente en la canalización del agua de las azoteas de los edificios. El agua pluvial pudiera ser utilizada para su uso en los edificios de las dependencias de la UPALM.
- **Reutilización de aguas grises.** Las aguas grises provienen de los sanitarios, lavabos, fregaderos; aparentemente este tipo de agua no puede tener ningún valor, pero con su reutilización, su ciclo de vida se extiende. Los sistemas para la reutilización de las aguas grises son muy demandados para su uso en viviendas unifamiliares, comunidades de vecinos, hoteles y universidades. Estas instalaciones constan de unas tuberías independientes por donde circulan las aguas grises hasta llegar a unos depósitos, donde se lleva a cabo un tratamiento de depuración. Debido a esta depuración, el agua se puede reutilizar para alimentar las cisternas de los inodoros, para riego de áreas verdes o limpieza de exteriores.
- **Sistemas de ahorro de agua.** Las recomendaciones que se pueden implementar en la UPALM con respecto a sistemas de ahorro se podrían llevar a cabo en los sanitarios y en las zonas verdes. En los sanitarios se registra uno de los gastos más elevados de agua, aproximadamente el 65% del consumo total. La instalación de dispositivos interruptores de descarga, pulsadores de doble descarga, detectores de fuga o válvulas de llenado en inodoros existentes con depósito adosado, reduciría notoriamente el consumo de agua.
En las áreas verdes de la UPALM, se recomienda realizar un estudio del clima, composición del terreno, vegetación y su necesidad de agua así como el análisis de los recursos disponibles para el correcto mantenimiento de las zonas verdes lo que podría favorecer el ahorro de agua en los jardines y espacios verdes públicos.

10.1.4 Residuos

Las principales oportunidades de mitigación en el sector de residuos sólidos se encuentran en la gestión integral de los residuos sólidos urbanos, y en la disposición y tratamiento de aguas residuales.

- Evitar las emisiones no controladas de metano en los sitios de disposición como en la planta de composta ubicada en la Unidad Profesional “Adolfo López Mateos” mediante combustión controlada o aprovechamiento energético.
- Reducir la cantidad de residuos sólidos generados mediante el reciclaje y el reuso de materiales y productos que resultará en importantes reducciones de basura orgánica y en los impactos negativos que genera, además se podrían abatir los costos que representa la disposición de residuos a los gobiernos locales.
- Instalar plantas de tratamiento de aguas residuales en las escuelas, áreas deportivas y administrativas de la Unidad Profesional “Adolfo López Mateos”.

10.1.5 Recursos forestales

Para inducir la conservación, captura y sustitución de carbono en el área forestal, se plantean los siguientes recomendaciones:

- Realizar obras de conservación y restauración de suelos forestales.
- Incrementar el potencial de los sumideros forestales de carbono a través de acciones de forestación y reforestación.

10.1.6 Investigación y desarrollo tecnológico

El Instituto Politécnico Nacional (IPN) como centro de generación y transferencia de conocimientos debe de fomentar en sus alumnos consciencia y sensibilidad ambiental. A continuación se mencionan algunas medidas que el IPN, a través de su academia puede implementar para participar más activamente en las medidas de reducción de emisiones de GEI que las autoridades realizan.

- Generar inventarios de emisiones de gases de efecto invernadero anuales y reportarlos a los distintos programas voluntarios de reporte y contabilidad de emisiones como el Programa GEI México, pues a partir de la información que proporcionan se pueden realizar proyectos de reducción de emisiones como el que se presenta en este trabajo de tesis.
- Integrar de manera transversal en las carreras que el IPN ofrece a sus estudiantes de nivel medio superior, superior y posgrado, materias que complementen la formación de cada estudiante en temas de desarrollo sustentable, con un énfasis en el cuidado del medio ambiente, recursos naturales, mitigación de emisiones de GEI y de adaptación al cambio climático.
- Fomentar el desarrollo de las sociedades sustentables a través de sus alumnos, de información, de programas con la comunidad en los cuales se incremente la consciencia de cada persona en términos

de sus impactos como: huella ecológica, huella hídrica, huella energética, huella económica, huella social, etc.

- Crear en los alumnos el compromiso y responsabilidad de una producción y consumo sustentable a través del diseño de productos, procesos y servicios innovadores y eficientes en el uso de energía.
- Impulsar los centros de investigación y programas relacionados con el fenómeno de cambio climático institucionales para que estos centros y programas generen y desarrollen conocimientos, tecnología y herramientas tales como: modelos de predicción climática, modelos prospectivos de contaminantes, identificación de vulnerabilidades, medidas de adaptación a los impactos del cambio climático así como aprovechar sus oportunidades..
- Aprovechar las oportunidades que brinda el instituto como plataforma para crear una red de transferencia de información, conocimiento, tecnología y valores a través de sus alumnos, los que pueden ser agentes multiplicadores para crear una cultura de consumo responsable y una sociedad más sustentable.
- Se requiere elevar el nivel de conciencia de la sociedad en materia de cambio climático mediante la educación, la capacitación y la difusión (información y comunicación).
- Formar cuadros técnicos de estudiantes, profesores, investigadores, científicos que apoyen la elaboración de planes regionales, estatales y nacionales que tomen en consideración la utilización de tecnología bajas en carbono.
- Fomentar el desarrollo de programas académicos sobre el cambio climático, enfocados a diversos sectores, y orientados a elevar el nivel general de conocimiento sobre el tema y mejorar las capacidades de respuesta y de elaboración de diagnósticos sobre vulnerabilidad a nivel local en todo el país.

Fortalecimiento de las capacidades de investigación.

Los recursos disponibles para enfrentar el proceso de cambio climático en las Universidades y en particular en el IPN son muy escasos y deben aplicarse cuidadosamente con criterios de eficiencia. El IPN debe apoyar de una manera más contundente a la investigación relacionada con el fenómeno de cambio climático, a continuación se enlistan algunas recomendaciones para tratar de lograr el fortalecimiento de la capacidad del IPN en términos de investigación:

- Fortalecer la investigación científica y el conocimiento sobre el ciclo del carbono.
- Realizar y publicar las estimaciones de coeficientes de contenido de carbono, y de capacidad de captura de carbono de las principales eco-regiones.

-
- Fortalecer la capacidad instalada para el análisis, monitoreo y reporte sobre la situación de suelos y la degradación de tierras.
 - Fortalecer la capacidad de análisis de la resiliencia (o elasticidad) de los sistemas humanos ante los impactos del cambio climático en los servicios ambientales.
 - Fortalecer la investigación sobre la vulnerabilidad de regiones y sectores prioritarios ante el cambio climático.
 - Fortalecer la investigación básica sobre el aprovechamiento integral de la biomasa.
 - Evaluar el potencial de opciones tecnológicas para los sectores emisores clave.

Necesidad de implementar medidas de adaptación al cambio climático.

Anteriormente, en el capítulo 4 se habló de la importancia y necesidad de llevar a cabo medidas de adaptación en zonas vulnerables a los impactos del cambio climático. México es inminentemente vulnerable a los fenómenos meteorológicos extremos inducidos por el cambio climático como precipitaciones intensas sequias, ondas de calor, inundaciones y a la elevación del nivel de mar.

Si bien las medidas de mitigación son indispensables para que la concentración de GEI disminuya y para garantizar la sustentabilidad de las generaciones futuras. Estas medidas no van a frenar de ninguna manera los impactos que ocurren y que muy probablemente ocurrirán en un futuro inmediato debido al tiempo de vida de los GEI en la atmósfera, a su estabilidad y concentración.

Las medidas de adaptación son necesarias para reducir el riesgo de los impactos de los fenómenos meteorológicos extremos que afectan seriamente la estabilidad ambiental, social y económica de México y el mundo, además estas medidas ofrecen la oportunidad de una mejor planeación urbana, ecológica y social que al corto plazo disminuirán los costos excesivos que provoca el impacto un fenómeno meteorológico extremo en una población, industria o un ecosistema.

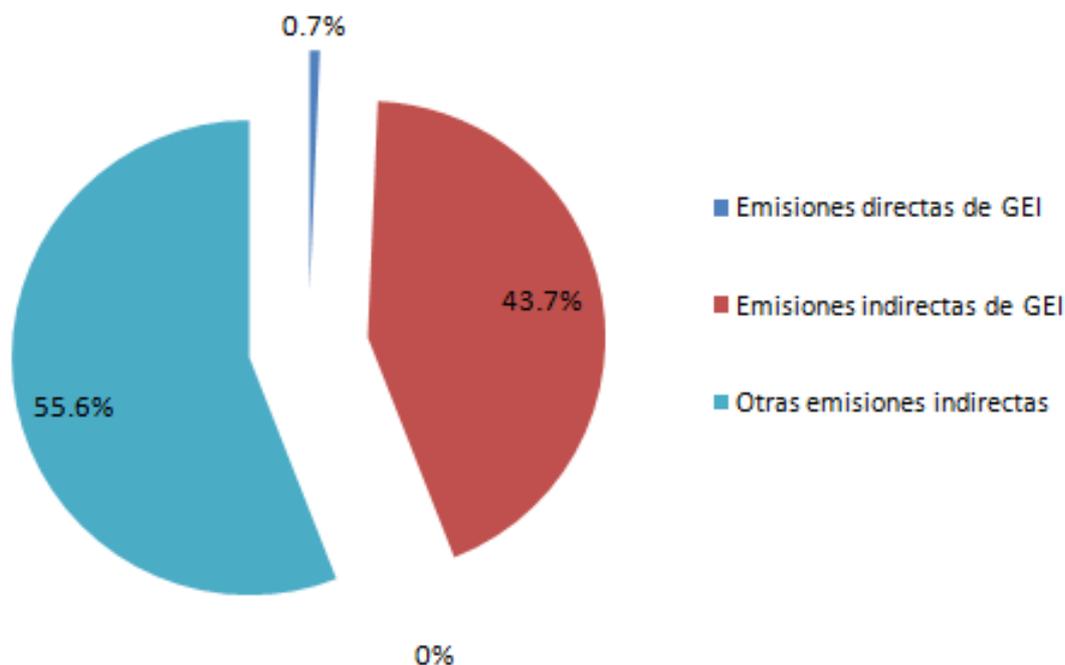
Resultados

Los resultados más importantes que se obtienen en este trabajo de tesis son las emisiones del Inventario de GEI de la Unidad Profesional “Adolfo López Mateos” (UPALM) del Instituto Politécnico Nacional (IPN) en toneladas de dióxido de carbono equivalente de los tres alcances analizados.

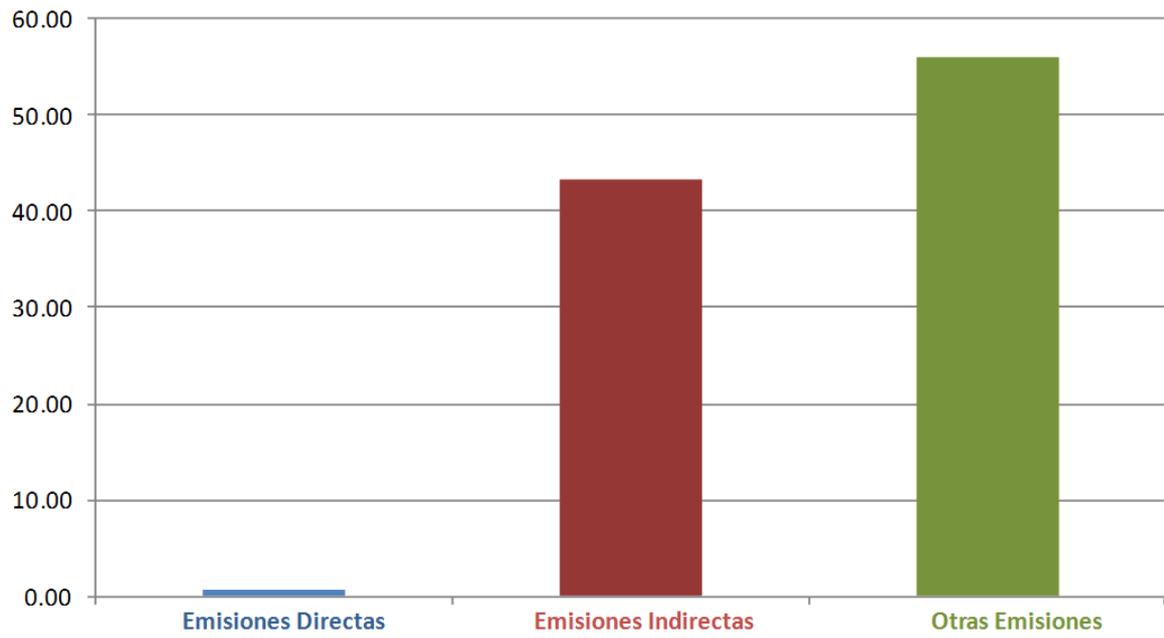
Alcance	Toneladas CO _{2e}
Alcance 1: Emisiones Directas de CO _{2e} por combustión fija y móvil	72.6
Alcance 2: Emisiones Indirectas de CO _{2e} por consumo de electricidad adquirida	4,679.27
Alcance 3. Otras emisiones indirectas de CO _{2e}	6,036.42
Emisiones Totales	10,788.29

Como se presenta en la tabla anterior, las emisiones totales suman 10,788.59 toneladas de CO_{2e}. La distribución de las emisiones en porcentaje es el siguiente: las emisiones directas de GEI del alcance 1 representan el 0.7%, las emisiones indirectas del alcance 2 relacionadas con el consumo de electricidad adquirida representan el 43.51% y las otras emisiones indirectas analizadas en el alcance 3 representan el 56.12% de las emisiones totales estimadas en el presente inventario de emisiones de GEI, como se representa en la siguiente gráfica.

Proporción de las emisiones de CO_{2e} de la Unidad Profesional “Adolfo López Mateos del I.P.N.” en año 2008.



Gráfica de las emisiones totales de CO₂ e del caso de estudio en el año 2008



Conclusiones

El calentamiento global del sistema climático que conduce al fenómeno del cambio climático es sin lugar a dudas el desafío ambiental más importante que los gobiernos, la comunidad científica, el sector público y privado y la sociedad enfrentan; distintos impactos como la elevación del nivel del mar, el incremento en el estrés hídrico, el aumento en la frecuencia e intensidad de inundaciones y sequías, la pérdida de los glaciares y subsuelo congelado, los cambios en la propagación de enfermedades, entre otros demuestran la innegable evidencia de que el fenómeno es real.

Los mecanismos que las organizaciones internacionales encargadas de llevar acciones para reducir emisiones y desarrollar proyectos de adaptación a pesar de tener una buena base científica y técnica, no resultan dirigibles ni muchos menos han tenido éxito para ser implementados en la mayor parte de los países, prueba de esto es que los países anexo 1 siguen emitiendo cada vez más emanaciones de gases de efecto invernadero y que en la actualidad se rebasan las emisiones del peor escenario proyectado para el 2100.

Las medidas de mitigación de emisiones de GEI son fundamentales para la sustentabilidad de los ecosistemas, los recursos naturales, la calidad de vida de las personas, etc., las medidas de adaptación como los ajustes de los sistemas naturales y humanos a los efectos adversos del fenómeno del cambio climático y el aprovechamiento de los impactos positivos deben de tener el mismo nivel de atención pues aunque se llegaran a alcanzar resultados magníficos en las medidas de mitigación de emisiones, los impactos del cambio climático seguirán afectando por un tiempo indefinido y quizá con una creciente mayor intensidad a los ecosistemas, comunidades, recursos naturales, infraestructura, economía, etc.

La elaboración del reporte de inventario de emisiones del campus Zacatenco del Instituto Politécnico Nacional es un documento fundamental en las acciones de la institución para disminuir su huella ecológica relacionada al carbono y atender el fenómeno de cambio climático, pues para poder realizar una estrategia de mitigación de emisiones es necesaria la contabilidad de emisiones. Además, el estudio de actividades y fuentes de emisión que se contemplan en los tres alcances de emisión permite evaluar el desempeño ambiental climático de las diferentes dependencias politécnicas e identificar las oportunidades más importantes de reducción.

En este trabajo de tesis se establecen las bases teóricas y metodológicas para que se desarrollen inventarios de emisiones de GEI en cualquier institución educativa o empresa que pertenezca al sector de oficinas y servicios; representa el primer esfuerzo que el IPN realiza para contabilizar sus emisiones de GEI.

El Inventario de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) del campus Zacatenco del I.P.N. se divide en tres tipos de alcance de emisiones: el alcance 1 relacionado con las emisiones directas de GEI, el alcance 2 referido a las emisiones indirectas de GEI y el alcance 3 relacionado con las otras emisiones indirectas de GEI. Las emisiones totales de CO₂ e a la atmósfera en el año 2008 de la UPALM se estiman en 10,788.29 toneladas de CO₂ e.

Las emisiones del alcance 1 se estiman en 72.6 toneladas de CO₂ e y representa solo el 0.70% de las emisiones totales de GEI de la UPALM, se consideran fuentes de combustión fija representadas por las plantas de generación energía eléctrica instaladas en algunas instalaciones de la UPALM y por el consumo de gas LP, las fuentes de combustión móvil analizadas se relacionan con las actividades de transporte de alumnos, profesores y materiales en vehículos propiedad del IPN.

Las emisiones indirectas de CO₂ analizadas en el alcance 2 se estiman en 4,679.27 toneladas de CO₂e y representan el 43.7% del total de las emisiones estimadas, se relacionan con el consumo de energía eléctrica de todas las dependencias de la UPALM.

Las otras emisiones indirectas de CO₂ del alcance 3 son el sector emisor más importante del inventario, se estiman en 6,036.42 toneladas de CO₂ e y representan el 55.16% del total de las emisiones, se relacionan con los viajes de los alumnos y docentes de sus domicilios a las instalaciones del campus Zacatenco así como los viajes aéreos nacionales e internacionales de los funcionarios y docentes.

Las medidas de mitigación de emisiones relacionadas con el sector energía se enfocan en optimizar la eficiencia en la iluminación a través de la mejora de las instalaciones eléctricas existentes y la implementación de dispositivos eléctricos más eficientes, se pretende sensibilizar a los usuarios de los edificios para poder ahorrar energía en todas las dependencias, también se propone mejorar el hardware de los equipos de cómputo, la implementación de principios de edificación sustentable en los edificios existentes y sobre todo en los proyectos de construcción futuros.

En este trabajo de tesis se proponen medidas de mitigación de emisiones para los viajes aéreos nacionales e internacionales de funcionarios y profesores, para reducir los viajes de alumnos y docentes en vehículos propiedad del Instituto Politécnico Nacional se enfocan en la utilización de combustibles alternativos como biodiesel y etanol, así como el entrenamiento de choferes para un manejo de vehículos más eficiente.

Sugerencias para trabajos futuros derivados del trabajo de tesis

En este trabajo de tesis se establece una metodología que puede ser reproducida en todos los campus, centros de investigación y diferentes dependencias politécnicas para que se elabore el inventario de emisiones de GEI de todas las dependencias del IPN.

En el proceso de recolección de la información se presentaron algunos problemas en obtener el número y tipo de vehículos propiedad del IPN, se recomienda que se mejore la calidad de la información proporcionada por la Secretaría de Administración del IPN para que el cálculo de las emisiones directas de CO₂ relacionadas con el transporte de vehículos propiedad del IPN sea más confiable.

Se podrían también considerar las emisiones directas de GEI derivadas del uso de refrigerantes en equipos de aire acondicionado, se debe empezar a recolectar información en las aulas, auditorios, laboratorios acerca del tipo de refrigerante utilizado y llevar registros sobre el uso de refrigerantes en los equipos. En caso de utilizar refrigerantes con gases incluidos en el Protocolo de Kioto, los datos de las recargas a los equipos deben de ser monitoreados y considerados en los posteriores inventarios de emisiones de GEI. Además este monitoreo permitirá controlar las emisiones de los refrigerantes controlados tanto por el Protocolo de Kyoto como por el Protocolo de Montreal (sobre sustancias dañinas a la capa de ozono). La elección de refrigerantes podría considerar el potencial de calentamiento global (GWP) y el potencial de destrucción de la capa de ozono (ODP) de las sustancias empleadas, adicionalmente a la seguridad y eficiencia energética de los equipos de aire acondicionado.

En el alcance 3 de otras emisiones indirectas relacionadas con los viajes de los alumnos, profesores, trabajadores de sus domicilios a las instalaciones de la UPALM solo se consideraron el número de vehículos promedio en los estacionamientos y un recorrido promedio. Se recomienda realizar cuestionarios a las personas que viajan en otros medios de transporte como: autobús, taxi, metro, bicicleta, motocicleta, microbús colectivo, etc. así como las distancias que recorren; para poder determinar más eficientemente las emisiones indirectas de CO₂e de estas personas.

Es importante que se sigan realizando cada año la actualización del inventario de emisiones en la Unidad Profesional "Adolfo López Mateos" del IPN al menos en el periodo compromiso establecido en los objetivos de reducción de emisiones que se ajustan al periodo multianual de compromiso del Protocolo de Kyoto (2008-2012) y que se recalculen las emisiones del año base (2008) si la UPALM realiza nuevos proyectos de construcción dentro de este periodo de compromiso.

Bibliografía

1. Centro Mario Molina para Estudios Estratégicos de Energía y Medio Ambiente (2009). Plan de Acción Climática de Pemex.
2. Dickinson, R. E. (1989). "The Greenhouse effect". SCOPE. Manchester, Inglaterra.
3. Friedman, H. (1985). "The Science of Global Change: An Overview". Cambridge University Press. Cambridge, Inglaterra.
4. INE - SEMARNAT (2006). "México Tercera Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático". Primera edición. México. D.F.
5. IPCC (2007). Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático.
6. IPCC (2007). "Contribución del Grupo de Trabajo II al 4° Reporte de Evaluación sobre cambio climático". www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/.
7. IPCC (2007). "Cambio climático 2007: Impactos, Vulnerabilidad y Adaptación". 4° Reporte de Evaluación sobre cambio climático. www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/.
8. Leff (2008). Decrecimiento o desconstrucción de la economía: Hacia un mundo sustentable. <http://www.scielo.cl/pdf/polis/v7n21/art05.pdf>
9. Ley Orgánica del IPN (1982). Diario Oficial de la Federación. (Artículo 2º), México D.F.
10. López, V. (2008). "El CALENTAMIENTO GLOBAL está conduciendo al CAMBIO CLIMÁTICO del mundo". Editorial Trillas. México, D.F.
11. Ludevid M. (2002). "El cambio global en el MEDIO AMBIENTE, introducción a sus causas humanas". Editorial Alfaomega Grupo Editor. México D.F.
12. Menon G. (1989). "Open Address en Global Change". Informe 71. Washington, D.C.
13. National Aeronautics and Space Administration (1986). "Earth System Science Overview". Washington, D.C.
14. Programa GEI (2007). <http://www.geimexico.org/>

-
15. Stern (1992). "Global Environment Change, understanding the Human Dimensions. National Research Council. Washington, D.C.

 16. Stern N. (2007). "Revisión Stern: La economía del cambio climático, 2007".

 17. SEMARNAT-WBCSD (2008). "Protocolo de GEI: Estándar Corporativo de Contabilidad y Reporte". (página 35).

 18. TURNER, B. L. (1989). "Two types of global environment change: Definitional and Spatial scales issues in their human dimensions". Informe No. 71. Washington, D.C.

Glosario

Adaptación: Adopción de medidas para reducir las consecuencias del cambio climático, tales como la construcción de barreras para inundaciones.

Albedo: El albedo es la relación, expresada en porcentaje, de la radiación que cualquier superficie refleja sobre la radiación que incide sobre la misma. Las superficies claras tienen valores de albedo superior a las oscuras, y las brillantes más que las mates. El albedo medio de la Tierra es del 30-32% de la radiación que proviene del Sol. Es una medida de la tendencia de una superficie a reflejar radiación incidente.

Atmósfera: Capa gaseosa que rodea a la Tierra, está compuesta por oxígeno (20,946%) y nitrógeno (78,084%), con pequeñas cantidades de argón (0,93%), dióxido de carbono (variable, pero alrededor de 0,033% ó 330 ppm), vapor de agua (aprox. 1%), neón (18,2 ppm), helio (5,24 ppm), kriptón (1,14 ppm), hidrógeno (5 ppm) y ozono (11,6 ppm). Protege la vida de la Tierra absorbiendo en la capa de ozono parte de la radiación solar ultravioleta, reduciendo las diferencias de temperatura entre el día y la noche, y actuando como escudo protector contra los meteoritos. El 75% de la atmósfera se encuentra en los primeros 11 km de altura desde la superficie planetaria.

Biomasa: Total de materia orgánica seca o contenido de energía almacenada de organismos vivos existente en un área determinada. La biomasa se refiere a la materia viva (ej. pastos, árboles), o sus derivados (ej. etanol, madera, carbón vegetal, etc.) que pueden usarse como combustibles.

Cambio climático: Para el IPCC, el término “cambio climático” denota un cambio en el estado del clima identificable (por ejemplo, mediante análisis estadísticos) a raíz de un cambio en el valor medio y/o en la variabilidad de sus propiedades, y que persiste durante un período prolongado, generalmente cifrado en decenios o en períodos más largos. Denota todo cambio del clima a lo largo del tiempo, tanto si es debido a la variabilidad natural como si es consecuencia de la actividad humana. Este significado difiere del utilizado en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático ((UNFCC)), que describe el cambio climático como un cambio del clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana, que altera la composición de la atmósfera mundial y que viene a sumarse a la variabilidad climática natural observada en períodos de tiempo comparables.

Criósfera: La criósfera consiste de las regiones cubiertas por nieve o hielo, sean tierra o mar. Incluye la Antártida, el Océano Ártico, Groenlandia, el Norte de Canadá, el Norte de Siberia y la mayor parte de las cimas más altas de cadenas montañosas. Juega un rol muy importante en la regulación del clima global. La nieve y el hielo tienen un alto albedo, por ello, algunas partes de la Antártida reflejan hasta un 90% de la radiación solar incidente, comparado con el promedio global que es de un 31%. Sin la criósfera, el albedo

global sería considerablemente más bajo, se absorbería más energía a nivel de la superficie terrestre y consecuentemente la temperatura atmosférica sería más alta.

Desarrollo sustentable: Tipo de desarrollo que permite resolver las necesidades actuales sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para resolver las suyas.

Dióxido de carbono (CO₂): Es el principal producto gaseoso de la combustión del gas natural, del petróleo y del carbón. El CO₂ se encuentra en estado natural en la atmósfera, es una gas de efecto invernadero y su concentración ha aumentando en el último siglo.

Escala Saffir-Simpson: La escala de huracanes de Saffir-Simpson es una escala que clasifica los huracanes según la intensidad del viento, desarrollada en 1969 por el ingeniero civil Herbert Saffir y el director del Centro Nacional de Huracanes de Estados Unidos, Bob Simpson.

Forzamiento radiativo: Cambio en la irradiación neta vertical en la tropopausa debido a un cambio interno o un cambio en el forzamiento externo del sistema climático (por ejemplo, un cambio en la concentración del dióxido de carbono o la potencia del sol. Normalmente el forzamiento radiativo se calcular después de permitir que las temperaturas estratosféricas se reajusten al equilibrio radiativo, pero manteniendo fijas todas las propiedades troposféricas en sus valores sin perturbaciones.

Gas de Efecto Invernadero (GEI): Gas presente en la atmósfera terrestre que absorbe la radiación infrarroja permitiendo a la atmósfera retener el calor. Estos gases tienen su origen en los procesos naturales y humanos. Los principales gases de efecto invernadero, son el dióxido de carbono (CO₂), óxido nitroso (N₂O), metano (CH₄), los hidrofluorocarbonos (HFC), perfluorocarbonos (PFC) y el hexafluoruro de azufre (SF₆).

Huella ecológica: Indicador agregado definido como el área de territorio ecológicamente productivo (cultivos, pastos, bosques o ecosistemas acuáticos) necesaria para producir los recursos utilizados y para asimilar los residuos producidos por una población dada con un modo de vida específico de forma indefinida. Su objetivo fundamental consiste en evaluar el impacto sobre el planeta de un determinado modo o forma de vida y, comparado con la biocapacidad del planeta. Consecuentemente es un indicador clave para la sustentabilidad.

IPCC: Panel Intergubernamental en Cambio Climático (*Intergovernmental Panel on Climate Change*): Organismo internacional compuesto de científicos especializados en cambio climático. Su misión es evaluar la información científica y técnica relevante para el entendimiento de los riesgos planteados por el cambio climático inducido por el hombre.

Informe Stern: Estudio encargado por el gobierno británico, dirigido al señor Sir Nicholas Stern, para investigar los costes del cambio climático para la economía mundial. Los resultados del estudio se plasmaron en el informe “La economía del Cambio Climático” (*“The Economics of Climate Change”*), que fue publicado en octubre de 2006 y bien recibido en el ámbito internacional.

Inventario de emisiones- Lista de cuantificación de emisiones de GEI y de las fuentes de emisión correspondientes a una organización determinada.

Protocolo de Kyoto: Acuerdo internacional de la UNFCC que fija los objetivos vinculantes para la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero por parte de los países industrializados. Fue acordado el 11 de diciembre de 1997 en la Conferencia de los Participantes del Tratado, en su reunión en Kyoto, y entró en vigor el 16 de febrero de 2005.

Mitigación: Reducción de los gases de efecto invernadero en la atmósfera.

Países Anexo 1: Grupo de países incluidos en el Anexo 1 de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, incluidos todos los países desarrollados de la Organización de Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE), y los países con economías en transición. Los países del Anexo 1 se comprometen de manera específica a conseguir de manera individual o conjunta en el año 2000 los niveles de emisiones de GEI que tenían en 1990.

Reducción: Se refiere a la reducción de gases de efecto invernadero en la atmósfera y se utiliza más comúnmente para describir formas de ahorro de emisión de carbono.

SEMARNAT: Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, es la dependencia del Gobierno Federal de fomentar la protección, restauración y conservación de los ecosistemas y recursos naturales y bienes y servicios ambientales, con el fin de propiciar su aprovechamiento y desarrollo sustentable”.

Sustentabilidad: Condición que permitirá la existencia indefinida de la especie humana en la tierra, a través de una vida sana, productiva y en armonía con la naturaleza y con los valores espirituales.

Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCC, por sus siglas en inglés): La Convención Marco sobre el Cambio Climático de las Naciones Unidas establecida en 1994, presenta un marco de trabajo general para que los esfuerzos intergubernamentales hagan frente al reto impuesto por el cambio climático.

Organización Meteorológica Mundial (WMO). Es una organización internacional creada en 1946 en el seno de la ONU cuyo objetivo es asegurar y facilitar la cooperación entre los servicios meteorológicos nacionales, promover y unificar los instrumentos de medida y los métodos de observación.

ANEXOS

ANEXO A.

Escenarios de Emisiones de GEI del IPCC (2007)

El IPCC define como escenario climático a una representación del clima futuro, basada en un conjunto de relaciones climatológicas, que se construye para ser utilizada de forma explícita en la investigación de las consecuencias potenciales del cambio climático antropogénico.

Las simulaciones del IPCC pronostican el aumento de las concentraciones atmosféricas de gases de efecto invernadero las cuales tendrán como resultado cambios en la variabilidad de temperaturas diarias, estacionales, interanuales y entre décadas. Se espera que disminuyan las temperaturas diurnas en muchas regiones, con más aumento de las temperaturas mínimas nocturnas que el incremento de las temperaturas máximas diurnas. La mayoría de las simulaciones sugieren una reducción de la variabilidad diaria de la temperatura del aire en la superficie durante el invierno, y un aumento de la variabilidad diaria en verano en zonas terrestres del hemisferio norte. Aunque los cambios futuros en la variabilidad de El Niño difieren entre simulaciones, las estimaciones actuales muestran pocos cambios o un pequeño aumento en la amplitud de los fenómenos asociados con El Niño durante los próximos 100 años. Muchas simulaciones muestran una respuesta media en el Pacífico tropical muy parecida a la de El Niño, con una proyección de las temperaturas de la superficie del mar en las zonas central y ecuatorial este del Pacífico y un calentamiento superior a las del oeste del Pacífico ecuatorial, lo que se traducirá en un desplazamiento hacia el este de las precipitaciones. Incluso con poco cambio o sin cambio en la fuerza de El Niño es probable que el calentamiento mundial produzca extremos en sequías y fuertes precipitaciones, y que aumente el riesgo de las sequías e inundaciones que acompañan los fenómenos asociados con El Niño en muchas partes del mundo. No existe un acuerdo claro relacionado con pautas sobre los cambios en la frecuencia o estructura oceánicas y atmosféricas que tienen lugar de manera natural, como la Oscilación Atlántica Norte.

A continuación se presentan los tipos de escenarios que desarrolla el IPCC: escenario A1, A2, B1, y B2, que están en función de la respuesta de los gobiernos, poblaciones y ecosistemas:

A1. El argumento y escenario de esta familia de simulaciones describen un futuro de rápido crecimiento económico, de incremento de población que alcanza su punto máximo a mediados de siglo y decrece posteriormente, y una rápida introducción de tecnologías nuevas y más eficaces. Los principales problemas son la convergencia entre las regiones, el desarrollo de capacidad y un aumento de interacciones culturales y sociales, con una importante reducción de diferencias regionales en ingresos per cápita. La familia de escenarios A1 se desarrolla en tres grupos que muestran las direcciones alternativas del cambio tecnológico en el sistema energético. Los tres grupos en A1 se distinguen por su énfasis tecnológico: con un gran empleo de combustibles fósiles (A1FI), con fuentes de energía no provenientes de combustibles fósiles (A1T) y un equilibrio en todas las fuentes (A1B) en donde se define el 'equilibrio' como algo que no precisa un tipo de

energía en particular, o supone que se aplican niveles parecidos de mejora a todas las fuentes de energía y tecnologías para usos finales.

A2. El argumento y escenario de la familia de simulaciones A2 describen un mundo muy heterogéneo. El problema principal es la independencia y la conservación de identidades locales. Las pautas de fertilidad en todas las regiones convergen muy lentamente, lo que produce un aumento constante de población. El desarrollo económico se encuentra orientado principalmente hacia las regiones y el crecimiento económico per cápita y el cambio tecnológico se encuentran más fragmentados y son más lentos que en otras simulaciones.

B1. El argumento y escenario de la familia de simulaciones B1 describen un mundo convergente y con la misma población mundial que tiene su punto máximo a mitad de siglo y disminuye posteriormente, tal y como sucede en el argumento A1, pero cuentan con un cambio rápido en las estructuras económicas hacia los servicios y la información, con reducciones en intensidad de materiales y con la incorporación de tecnologías limpias y eficientes en su uso de recursos. El énfasis en este escenario se pone en las soluciones mundiales a las cuestiones de sostenibilidad económica, social y ambiental, y la mejora de la equidad, pero sin contar con iniciativas climáticas adicionales.

B2. El argumento y escenario de la familia de simulaciones B2 describen una situación en donde se pone énfasis en las soluciones locales para la sostenibilidad económica, social y ambiental. Se trata de un aumento continuo de la población mundial, aunque a un nivel menor que en A2, con niveles intermedios de desarrollo económico, y un cambio tecnológico más lento y diverso que en B1 y A1. El escenario también se orienta a la protección ambiental y a la equidad social, pero se centra en la situación local y regional.

ANEXO B.

Fuentes de emisión por alcance en cada sector industrial.

SECTOR	FUENTE DE LAS EMISIONES ALCANCE 1	FUENTE DE LAS EMISIONES ALCANCE 2	FUENTE DE LAS EMISIONES ALCANCE 3
ENERGIA			
Generación de energía	<ul style="list-style-type: none"> • Combustión fija (calderas y turbinas utilizadas en la producción de electricidad, calor o vapor, bombas de combustible, celdas de combustión, quemadores de gas) • Combustión móvil (camiones, pipas, barcasas y ferrocarriles para el transporte de combustibles) • Emisiones fugitivas (fugas de CH₄ en instalaciones de transmisión y almacenamiento, emisiones de HFC en instalaciones de almacenamiento de gas licuado de petróleo (LP), emisiones de SF₆ en equipos de transmisión y distribución) 	<ul style="list-style-type: none"> • Combustión fija (consumo de electricidad, calor o vapor adquiridos) 	<ul style="list-style-type: none"> • Combustión fija (explotación de minas y extracción de combustibles, energía para refinación o procesamiento de combustibles) • Emisiones de proceso (producción de combustibles, emisiones de SF₆²) • Combustión móvil (transporte de combustibles y residuos, viajes de negocios de empleados, traslado de personal desde y hacia sus casas) • Emisiones fugitivas (CH₄ y CO₂ de rellenos sanitarios, conductos, emisiones de SF₆)
Petróleo y gas³	<ul style="list-style-type: none"> • Combustión fija (calentadores de proceso, motores, turbinas, quemadores de gas, incineradores, agentes oxidantes, producción de electricidad, calor y vapor) • Emisiones de proceso (respiradores de proceso, respiradores de equipos, actividades de mantenimiento y reajuste, actividades no rutinarias) • Combustión móvil (transporte de materias primas, productos y residuos; vehículos propiedad de la empresa) • Emisiones fugitivas (fugas de equipos a presión, tratamiento de aguas residuales, superficies de captación) 	<ul style="list-style-type: none"> • Combustión fija (consumo de electricidad, calor o vapor adquiridos) 	<ul style="list-style-type: none"> • Combustión fija (uso de productos como combustibles, combustión para la producción de materiales adquiridos) • Combustión móvil (transporte de materias primas, productos, residuos; viajes de negocios de empleados, traslado de personal desde y hacia sus casas, uso de productos como combustibles) • Emisiones de proceso (uso de productos como materia prima, emisiones derivadas de la producción de materiales adquiridos) • Emisiones fugitivas (CH₄ y CO₂ de rellenos sanitarios o de la producción de materiales adquiridos)

SECTOR	FUENTE DE LAS EMISIONES ALCANCE 1	FUENTE DE LAS EMISIONES ALCANCE 2	FUENTE DE LAS EMISIONES ALCANCE 3
ENERGIA			
Extracción de carbón	<ul style="list-style-type: none"> • Combustión fija (quema y uso de CH₄, uso de explosivos, detonaciones en minas) • Combustión móvil (equipo de minería, transporte de carbón) • Emisiones fugitivas (emisiones de CH₄ de minas y depósitos de carbón) 	<ul style="list-style-type: none"> • Combustión fija (consumo de electricidad, calor o vapor adquiridos) 	<ul style="list-style-type: none"> • Combustión fija (uso de productos como combustibles) • Combustión móvil (transporte de carbón y de residuos, viajes de negocios de empleados, traslado de personal desde y hacia sus casas) • Emisiones de proceso (gasificación)
METALES			
Aluminio*	<ul style="list-style-type: none"> • Combustión fija (procesamiento de bauxita a aluminio, horneado de coque; uso de cal, carbonato de sodio y combustibles, CHP in situ.) • Emisiones de proceso (oxidación anódica del carbono, electrólisis, PFC) • Combustión móvil (transporte antes y después de la fundición, arrastre o transporte del mineral en bruto) • Emisiones fugitivas (CH₄, HFC y PFC de línea de combustible; SF₆ como gas de cubierta) 	<ul style="list-style-type: none"> • Combustión fija (consumo de electricidad, calor o vapor adquiridos) 	<ul style="list-style-type: none"> • Combustión fija (procesamiento de materias primas y producción de coque por terceros, manufactura de maquinaria para producción) • Combustión móvil (servicios de transporte, viajes de negocios de empleados, traslado de personal desde y hacia sus casas) • Emisiones de proceso (durante la producción de materiales adquiridos) • Emisiones fugitivas (CH₄ y CO₂ de explotación minera y rellenos sanitarios, emisiones de procesos transferidos al exterior)

SECTOR	FUENTE DE LAS EMISIONES ALCANCE 1	FUENTE DE LAS EMISIONES ALCANCE 2	FUENTE DE LAS EMISIONES ALCANCE 3
METALES			
Hierro y acero⁵	<ul style="list-style-type: none"> • Combustión fija (coque, flujos de carbonatos y carbón, calderas, quemadores) • Emisiones de proceso (oxidación del hierro crudo, consumo de agentes reductores, contenido de carbono de ferroaleaciones y hierro crudo) • Combustión móvil (transporte dentro de las instalaciones) • Emisiones fugitivas (CH₄, N₂O) 	<ul style="list-style-type: none"> • Combustión fija (consumo de electricidad, calor o vapor adquiridos) 	<ul style="list-style-type: none"> • Combustión fija (procesamiento de materias primas y producción de coque por terceros, manufactura de maquinaria para producción) • Combustión móvil (servicios de transporte, viajes de negocios de empleados, traslado de personal desde y hacia sus casas) • Emisiones de proceso (durante la producción de materiales adquiridos) • Emisiones fugitivas (CH₄ y CO₂ de explotación minera y rellenos sanitarios, emisiones de procesos transferidos al exterior)
PRODUCTOS QUIMICOS			
Ácido nítrico, amoníaco, ácido adípico, urea y petroquímicos	<ul style="list-style-type: none"> • Combustión fija (calderas, quemadores, hornos de reducción, reactores de flama, regeneradores de vapor) • Emisiones de proceso (oxidación y reducción de sustratos, eliminación de impurezas, subproductos del N₂O, cracking catalítico, infinidad de emisiones específicas a cada proceso) • Combustión móvil (transporte de materias primas, productos y residuos) • Emisiones fugitivas (uso de HFC, fugas en tanques de almacenamiento) 	<ul style="list-style-type: none"> • Combustión fija (consumo de electricidad, calor o vapor adquiridos) 	<ul style="list-style-type: none"> • Combustión fija (producción de materiales adquiridos, incineración de residuos) • Emisiones de proceso (producción de materiales adquiridos) • Combustión móvil (transporte de materias primas, productos y residuos; viajes de negocios de empleados, traslado de personal desde y hacia sus casas) • Emisiones fugitivas (CH₄ y CO₂ de rellenos sanitarios y conductos)

SECTOR	FUENTE DE LAS EMISIONES ALCANCE 1	FUENTE DE LAS EMISIONES ALCANCE 2	FUENTE DE LAS EMISIONES ALCANCE 3
MINERALES			
Cemento y cal⁶	<ul style="list-style-type: none"> • Combustión fija (calderas, quemadores, hornos de reducción, reactores de flama, regeneradores de vapor) • Emisiones de proceso (oxidación y reducción de sustratos, eliminación de impurezas, subproductos del N₂O, cracking catalítico, infinidad de emisiones específicas a cada proceso) • Combustión móvil (transporte de materias primas, productos y residuos) • Emisiones fugitivas (uso de HFC, fugas en tanques de almacenamiento) 	<ul style="list-style-type: none"> • Combustión fija (consumo de electricidad, calor o vapor adquiridos) 	<ul style="list-style-type: none"> • Combustión fija (producción de materiales adquiridos, incineración de residuos) • Emisiones de proceso (producción de materiales adquiridos) • Combustión móvil (transporte de materias primas, productos y residuos; viajes de negocios de empleados, traslado de personal desde y hacia sus casas) • Emisiones fugitivas (CH₄ y CO₂ de rellenos sanitarios y conductos)
RESIDUOS⁷			
Rellenos sanitarios, incineración de residuos, servicios de agua	<ul style="list-style-type: none"> • Combustión fija (incineradores, hornos, quemadores) • Emisiones de proceso (tratamiento de lodos residuales, carga de nitrógeno) • Emisiones fugitivas (CH₄ y CO₂ de la descomposición de residuos y productos animales) • Combustión móvil (transporte de residuos y productos) 	<ul style="list-style-type: none"> • Combustión fija (consumo de electricidad, calor o vapor adquiridos) 	<ul style="list-style-type: none"> • Combustión fija (residuos reciclados usados como combustible) • Emisiones de proceso (residuos reciclados usados como materia prima) • Combustión móvil (transporte de residuos y productos, viajes de negocios de empleados y traslado de personal desde y hacia sus casas)

SECTOR	FUENTE DE LAS EMISIONES ALCANCE 1	FUENTE DE LAS EMISIONES ALCANCE 2	FUENTE DE LAS EMISIONES ALCANCE 3
PULPA Y PAPEL			
Pulpa y papel^a	<ul style="list-style-type: none"> • Combustión fija (producción de vapor y electricidad, emisiones del uso de combustibles fósiles en procesos de calcinación de carbonato de calcio en hornos de cal, secado de productos con secadores infrarrojos alimentados con combustibles fósiles) • Combustión móvil (transporte de materias primas, productos y residuos; operación de equipos de cosecha) • Emisiones fugitivas (CH₄ y CO₂ de residuos) 	<ul style="list-style-type: none"> • Combustión fija (consumo de electricidad, calor o vapor adquiridos) 	<ul style="list-style-type: none"> • Combustión fija (producción de materiales adquiridos, incineración de residuos) • Emisiones de proceso (producción de materiales adquiridos) • Combustión móvil (transporte de materias primas, productos y residuos; viajes de negocios de empleados, traslado de personal desde y hacia sus casas) • Emisiones fugitivas (CH₄ y CO₂ de rellenos sanitarios)
HFC, PFC, SF6, & Y PRODUCCIÓN DE HCFC 22^a			
Producción de HCFC 22	<ul style="list-style-type: none"> • Combustión fija (producción de electricidad, vapor o calor) • Emisiones de proceso (venteo de HFC) • Combustión móvil (transporte de materias primas, productos y residuos) • Emisiones fugitivas (uso de HFC) 	<ul style="list-style-type: none"> • Combustión fija (consumo de electricidad, calor o vapor adquiridos) 	<ul style="list-style-type: none"> • Combustión fija (producción de materiales importados, incineración de residuos, pérdidas corriente arriba por T&D de electricidad adquirida) • Emisiones de proceso (producción de materiales adquiridos, actividades de disposición de residuos en contenedores transferidas al exterior) • Combustión móvil (transporte de materias primas, productos y residuos; viajes de negocios de empleados, traslado de personal desde y hacia sus casas) • Emisiones fugitivas (CH₄ y CO₂ de rellenos sanitarios, fugas de proceso corriente abajo de residuos en contenedores)

SECTOR	FUENTE DE LAS EMISIONES ALCANCE 1	FUENTE DE LAS EMISIONES ALCANCE 2	FUENTE DE LAS EMISIONES ALCANCE 3
PRODUCCIÓN DE SEMICONDUCTORES			
Producción de semiconductores	<ul style="list-style-type: none"> • Emisiones de proceso (C₂F₆, CH₄, CHF₃, SF₆, NF₃, C₃F₈, C₄F₈, N₂O utilizados en la fabricación de paneles, CF₄ creado en el procesamiento de C₂F₆ y C₃F₈) • Combustión fija (oxidación de desperdicios orgánicos volátiles; producción de electricidad, vapor o calor) • Emisiones fugitivas (fugas de proceso del almacenamiento de gas, fugas de residuos en contenedores) • Combustión móvil (transporte de materias primas, productos y residuos) 	<ul style="list-style-type: none"> • Combustión fija (consumo de electricidad, calor o vapor adquiridos) 	<ul style="list-style-type: none"> • Combustión fija (producción de materiales importados, incineración de residuos, pérdidas corriente arriba por T&D de electricidad adquirida) • Emisiones de proceso (producción de materiales adquiridos, actividades de disposición de residuos en contenedores transferidas al exterior) • Combustión móvil (transporte de materias primas, productos y residuos; viajes de negocios de empleados, traslado de personal desde y hacia sus casas) • Emisiones fugitivas (CH₄ y CO₂ de rellenos sanitarios, fugas de proceso corriente abajo de residuos en contenedores)
OTROS SECTORES ¹⁰			
Sector servicios y organizaciones basadas en oficinas¹¹	<ul style="list-style-type: none"> • Combustión fija (producción de electricidad, vapor o calor) • Combustión móvil (transporte de materias primas y residuos) • Emisiones fugitivas (principalmente emisiones de HFC por el uso de equipo de refrigeración y aire acondicionado) 	<ul style="list-style-type: none"> • Combustión fija (consumo de electricidad, calor o vapor adquiridos) 	<ul style="list-style-type: none"> • Combustión fija (producción de materiales adquiridos) • Emisiones de proceso (producción de materiales adquiridos) • Combustión móvil (transporte de materias primas y residuos; viajes de negocios de empleados, traslado de personal desde y hacia sus casas)

Fuente: WRI- WBCSD (2005). Protocolo de Gases Efecto Invernadero, p.108.