



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

Instituto de Ecología

*Industria Eléctrica, Calentamiento Global, y sus Impactos
en Ecosistemas Terrestres en México.*

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE

MAESTRA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS
(BIOLOGIA AMBIENTAL)

P R E S E N T A

TERESA FLORES PASTOR

Director de Tesis: Dr. Juan Emmanuel Rincón Saucedo.

MÉXICO, D.F.

JUNIO, 2007



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

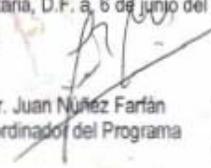
Ing. Leopoldo Silva Gutiérrez
Director General de Administración Escolar, UNAM
Presente

Por medio de la presente me permito informar a usted que en la reunión ordinaria del Comité Académico del Posgrado en Ciencias Biológicas, celebrada el día 12 de marzo del 2007, se acordó poner a su consideración el siguiente jurado para el examen de grado de Maestría en Ciencias Biológicas (Biología Ambiental) de la alumna Flores Pastor Teresa con número de cuenta 89378173 con la tesis titulada: "Industria Eléctrica, Calentamiento Global y sus Impactos en Ecosistemas Terrestres en México" bajo la dirección del Dr. Juan Emmanuel Rincón Saucedo.

Presidente:	Dr. Carlos Gay García
Vocal:	Dra. Ma. del Socorro Lozano García
Secretario:	Dr. Juan Emmanuel Rincón Saucedo
Suplente:	M. en I. Israel Laguna Monroy
Suplente:	Dr. Victor Luis Barradas Miranda

Sin otro particular, quedo de usted.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
Cd. Universitaria, D.F. a 6 de junio del 2007


Dr. Juan Nuñez Farfán
Coordinador del Programa

AGRADECIMIENTOS

Doy mí mas profundo agradecimiento al apoyo financiero que se me fue otorgado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (beca-CONACyT) No. 176726; así como también a al Dirección General de Estudios de Posgrado por otorgarme la beca complementaria OF.DGEP/SPIAP/PB/774/2003. Sin olvidar el apoyo económico otorgado por el proyecto ECO-IE173 “Restoring seasonal tropical forests in Mexico; using designer communities to direct succession y NSF Grant DEB-9622352.

Comité Tutorial:

Dr. Carlos Gay García
Dra. Ma. del Socorro Lozano García
Dr. Juan Emmanuel Rincón Saucedo
M en I. Israel Laguna Monroy
Dr. Victor Luis Barradas Miranda

Para mis padres Antonio y Olga.

Para mis hermanos Quetzal y César.

Para mi niño César Antonio por sus risas y darme parte de sus alegrías.

A la memoria de mi Tía Rosalía † y mi Abuelita Tere †.

A mi batalla por la vida.

Si querer saber es querer vivir, pues si, quiero vivir. Si querer conectarme al mundo es aferrarme a la vida, si querer salir es dar la batalla, si soñar en vivir, es luchar, quizá tienen razón. Si cumplir con lo que me recetan u ordenan es ser guerrero, pues si, a lo mejor soy eso que dicen...una guerrera.

Rascón Banda.

AGRADECIMIENTOS

Primero que nada quisiera expresar mi más profundo agradecimiento a mis padres, Olga Pastor Ramírez y Antonio Flores Medina por su apoyo, dedicación y comprensión porque a pesar de todo siempre han estado en los momentos más difíciles de todas mis batallas. También agradezco a mis dos maravillosos hermanos César Antonio y Quetzalcóatl Flores Pastor por su apoyo, cariño y el gran amor que me tienen. A mi Cesarín por darme los momentos de alegría cuando mas lo necesito y a mi cuñada Ivonne por sus atenciones. A todos ustedes mil gracias.

También agradezco al Dr. Juan Emmanuel Rincón Saucedo director de esta tesis, por permitir formar parte de su grupo de trabajo, por sus valiosos consejos, apoyo y comprensión que siempre me ha mostrado.

A mis compañeros y amigos; a la Dra. Pilar Huante y a la Biol. Irma Acosta, por sus comentarios, consejos y ayuda en general. Gracias también a la M. en C. Maria Esther Sánchez Coronado y a la Biol. Diana Soriano por su apoyo y amistad.

A los doctores; Juan Emmanuel Rincón Saucedo, Ma. del Socorro Lozano García, Víctor Luís Barradas Miranda y al M en I. Israel Laguna Monroy por la revisión de este escrito y sus consejos para la mejoría del mismo.

Finalmente doy mis sinceros agradecimientos a mis grandes amigas por sus alientos y sobre todo su amistad: Patricia Sánchez, Magdalena Palacios, Irma Acosta, Ma. Esther Sánchez, Rosalba Amaya, Liliana Romero y a mis primas Paola, Georgina, Carmen y Natalia. Mil Gracias.

CONTENIDO

	PAGINA
AGRADECIMIENTOS	III
CONTENIDO	VI
LISTA DE FIGURAS	IX
LISTA DE TABLAS	XI
LISTA DE GRAFICAS	XII
RESUMEN	XIII
ABSTRACT	XIV
INTRODUCCIÓN	XV
CAPITULO 1 CALENTAMIENTO GLOBAL	1
I.1 El efecto invernadero, gases de efecto invernadero y aerosoles	5
I.2 Las evidencias sobre el calentamiento global	10
I.3 Efectos del calentamiento global	10
I.3.1 Efectos sobre la vida y los ecosistemas.	11
I.3.2 Efectos sobre la vegetación.	12
I.3.2.1 Ecosistemas: ambientes terrestres.	13
I.3.2.2 Efectos sobre los ecosistemas terrestres en México.	16
I.4 Vulnerabilidad de México ante el cambio climático	17
I.4.1 Zona Norte	19
I.4.2 Zona Centro	20
I.4.3 Zona Sur	20

I.5	Respuesta internacional al cambio climático y participación de México	23
I.5.1	Algunos acuerdos internacionales vinculados al calentamiento global	24
I.5.2	Acciones de México a acuerdos internacionales	26
CAPITULO II. CAPTURA DE CARBONO ANTE EL CALENTAMIENTO GLOBAL		30
GLOBAL		
II.1	El ciclo del carbono	32
II.1.1	Procesos que regulan la concentración de CO ₂ en la atmósfera	33
II.2	Principales fuentes y sumideros del CO ₂	34
II.3	Opción de mitigación de carbono	37
II.4	La captura unitaria de carbono	42
II.5	Mecanismos de desarrollo limpio (MDL)	43
II.5.1	Implementación de un proyecto MDL	45
II.5.2	Fuentes de financiamiento que existen para realizar un proyecto MDL en México	46
II.6	Mercados de carbono	46
II.6.1	Transacciones de carbono	47
II.6.2	Proyectos MDL en México	49
CAPITULO III. GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN MÉXICO		51
III.1	La Industria en México	51
III.2	Sector energético en México	52
III.3	Sector eléctrico	55
III.3.1	Consumo per cápita de electricidad	56
III.3.2	Capacidad instalada mundial de energía eléctrica	58
III.3.3	El consumo nacional de electricidad	58

III.3.4 Producción de energía eléctrica	59
III.3.5 Pronóstico del consumo nacional de electricidad 2004-2013	60
III.3.6 Evolución de la capacidad instalada por región estadística	62
III.3.7 Requerimientos de inversión del sector eléctrico Nacional	64
III.4 Generación de energía eléctrica y medio ambiente	64
III.4.1 La tecnología en la generación de energía eléctrica	65
CAPITULO IV. GENERACIÓN DE EMISIONES	68
IV.1 Emisiones atmosféricas de las centrales eléctricas	68
IV.1.1 Dióxido de Azufre (SO ₂).	69
IV.1.2 Óxidos de Nitrógeno (NO _x).	69
IV.1.3 Mercurio.	69
IV.1.4 Dióxido de Carbono.	69
IV. 2 Datos de emisiones	70
IV.2.1 Emisiones de SO ₂	72
IV.2.2 Emisiones de CO ₂	72
IV.2.3 Emisiones de NO _x	73
IV.3 Emisiones por tipo de combustible	86
CAPITULO V. LA GESTIÓN AMBIENTAL EN EL SECTOR ELÉCTRICO	90
V.1 Principales impactos sobre el medio ambiente en el sector eléctrico	92
V.1.2 Efectos Ambientales	93
V.1.2 Efectos Climáticos	94
V.2 Legislación ambiental mexicana	95
V.2.1 Bases constitucionales	95

V.2.2 Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente	97
V.2.3 La evaluación de impacto ambiental (EIA)	99
V.2.4 Marco regulatorio en la generación de energía eléctrica	100
V.2.4.1 Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos (Artículos 27, 28 y 25)	100
V.2.4.2 Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica (LSPEE)	101
V.2.4.3 Ley Organica de la Administración Publica Federal	101
V.2.4.4 Ley de la Comisión Reguladora de Energía	101
V.2.4.5 Secretaría de Energía (SE)	102
V.2.4.6 Comisión Reguladora de Energía (CRE)	102
V.2.4.7 Comisión Nacional para el Ahorro de Energía (CONAE)	103
V.3 Normatividad ecológica	104
DISCUSIÓN	108
CONCLUSIONES	127
LITERATURA CITADA	130
APENDICE	144

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.A) Esquema de la temperatura global compilada de los registros del IPCC 1990. B) Esquema de la temperatura global estimada de registros geológicos adaptados de Crowley and North (1988) a escala para la temperatura global de acuerdo a Crowley (1989). C) Dinosaurios de David Catling.	1
Figura 2. El Efecto Invernadero	2
Figura 3. Concentración atmosférica global de CO ₂	3
Figura 4. Temperatura promedio históricas y proyecciones estimadas al año 2100	4

Figura 5. Sistema climático	6
Figura 6. Indicadores de la influencia humana sobre la atmósfera durante la era industrial.	8
Figura 7. Vías potenciales del cambio en las comunidades y de la extinción de especies por efecto del incremento de gases de invernadero en la atmósfera.	12
Figura 8. Norte de México: vulnerabilidad a la sequía meteorológica por cambio climático.	19
Figura 9. Vulnerabilidad de los recursos humanos al cambio climático.	20
Figura 10. Zonas costeras: 5 zonas presentarían mayor vulnerabilidad ya que son costas bajas que se disponen a menos de un metro sobre el nivel del mar.	21
Figura 11. Zonas vulnerabilidad alta y muy alta modelo CCCM sectores energía e industria.	22
Figura 12. Regiones hidrológicas con cambio en el número de índices rebasados.	22
Figura 13. Temperatura y concentración de CO ₂ en la atmósfera en los últimos 400,000 años (núcleos de hielo Vostok).	31
Figura 14. Ciclo global del carbono en la actualidad.	33
Figura 15. Perturbaciones antropogénicas (GtC/año) al ciclo mundial del carbono. La absorción de la Tierra se infiere como una cantidad residual de otros flujos y el aumento observado en la atmósfera.	35
Figura 16. Potencial de captura de carbono en México según opciones de manejo forestal	41
Figura 17. Flujos y almacenes de carbono en un ecosistema forestal	42
Figura 18. Mecanismo de desarrollolimpio (MDL)	44
Figura 19. Principales centros industriales de México	51
Figura 20. Centrales en proceso de construcción o comprometidas	62
Figura 21. Centrales de generación eléctrica en México	64
Figura 22. Combinación de combustibles para la generación de electricidad en México	68
Figura 23. Principales impactos potenciales sobre el medio ambiente por el sector eléctrico.	96
Figura 24. Marco regulatorio del sector eléctrico	101
Figura 25. Zonas críticas definidas en la NOM- 085-ECOL-1994	105

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Ejemplo de gases de efecto invernadero afectados por actividades humanas.	7
Tabla 2. Los sumideros y los flujos de carbono en los ecosistemas terrestres	36
Tabla 3. Potencial de absorción de carbono en el sector forestal en un periodo de 100 años	39
Tabla 4. Estimaciones de captura de carbono según diversos autores	39
Tabla 5. Estimaciones del Potencial de Captura de Carbono por entidad (Kt de CO ₂ por año)	40
Tabla 6. Valor de cada unidad de carbono fijado de acuerdo con varios autores	48
Tabla 7. Proyecto de mecanismo para un desarrollo limpio en México	50
Tabla 8. Producción de energía primaria	53
Tabla 9. Consumo nacional de energía	54
Tabla 10. Consumo de energía eléctrica, 2001-2015 (TWh)	57
Tabla 11. Calculo de emisiones de gases contaminantes. Emisiones totales por habitante y por unidad de PIB	70
Tabla 12 Factores de emisión usados para la generación de electricidad en México (combustóleo y diesel)	71
Tabla 13 Capacidad de generación instalada, generación de electricidad a base de vombustibles fósiles y emisiones calculadas de CO ₂ , SO ₂ , NO _x , y, Hg por estado para los años 1999, 2001 y 2002.	74
Tabla 14 Capacidad de generación y emisiones calculadas de CO ₂ , SO ₂ , NO _x , y, Hg para el año 2007. Cambios en los porcentajes de emisiones entre lo evaluado en 1999 y lo proyectado para el 2007 en su limite alto y bajo por entidad federativa.	80
Tabla 15. Resumen nacional del total de emisiones en referencia al inventario de 1999 y los limites alto y bajo de las proyecciones futuras (porcentaje del inventario de referencia se muestra entre paréntesis) CO ₂ , SO ₂ , NO _x y Hg (Kt).	86
Tabla 16. Resumen de la generación de emisiones y de electricidad por tipo combustible para el año 2002.	87

LISTA DE GRAFICAS

Gráfica 1. Ingreso y consumo por habitante en países seleccionados, 2002.	57
Gráfica 2. Evolución del consumo nacional de electricidad (1983-2003). Tasa de crecimiento anual (%)	58
Gráfica 3. Generación bruta en el servicio público por tipo de planta, 1995-2003 (GWh)	59
Gráfica 4. Generación de energía eléctrica de permisionarios por modalidad (GWh). Pronostico estimado por la comisión reguladora de energía.	60
Gráfica 5. Consumo nacional de energía eléctrica (escenario de planeación)	60
Gráfica 6. SEN: Programa de expansión 2006-2015 (MW)	61
Gráfica 7. Emisiones totales (CO ₂ , SO ₂ , NO _x , Hg) para 1999, 2001 y 2002 para el sector de energía eléctrica.	75
Gráfica 8. Emisiones de CO ₂ para 1999, 2001 y 2002 en el sector de energía eléctrica	76
Gráfica 9. Emisiones de SO ₂ para 1999, 2001 y 2002 en el sector de energía eléctrica	77
Gráfica 10. Emisiones de NO _x para 1999, 2001 y 2002 en el sector de energía eléctrica	78
Gráfica 11. Emisiones de Hg para 1999, 2001 y 2002 en el sector de energía eléctrica	78
Gráfica 12. Cambios en la capacidad de generación de electricidad por combustible para el año 2007 Limite Alto	81
Gráfica 13. Cambios en la capacidad de generación de electricidad por combustible para el año 2007 Limite Bajo	81
Gráfica 14 ^a . Emisiones de CO ₂ para el año 2007 Limite Alto y Bajo	83
Gráfica 14b. Emisiones de SO ₂ y NO _x para el año 2007 Limite Alto y Bajo	83
Gráfica 14c. Emisiones de para Hg año 2007 Limite Alto y Bajo	84
Gráficas 15 a y b. Porcentajes entre los cambios de emisión de contaminantes (CO ₂ , SO ₂ , NO _x , Hg) de 1999 y 2007 Limite Alto y Bajo	85
Gráfica 16. Resumen del total de emisiones de CO ₂ , SO ₂ , NO _x , Hg en referencia al inventario de 1999 y las proyecciones futuras 2007 Limites Alto y Bajo.	86
Gráfica 17. Porcentajes de contaminantes por combustible para la generación de energía eléctrica para el año 2002	88
Gráfica 18. Relación del carbono capturado por Kt/año y el CO ₂ emitido por generación de energía eléctrica que utilizan combustibles fósiles para los 22 estados evaluados en 1999	89

RESUMEN

El presente estudio tuvo como objetivo evaluar como un proceso de cambio global como lo es el calentamiento de la Tierra por la acumulación de gases de efecto invernadero producto de la quema de combustibles fósiles y de otras actividades humanas (industria eléctrica), se ha manejado a nivel nacional, su problemática y los impactos que éste tiene sobre el desarrollo o el establecimiento de los ecosistemas.

Para lo cual se produjo un diagnóstico de la información que se ha generado sobre el calentamiento global, haciendo énfasis de la actuación de México ante esta problemática; de igual forma se identificaron las principales actividades industriales del país, evaluando el porqué la energía eléctrica se considera como una de las actividades antropogénicas principales que influye en el aumento de los gases de efecto invernadero. Así mismo se identifico los impactos que ha tenido el aumento de las emisiones atmosféricas, producto de las actividades industriales sobre los ecosistemas terrestres.

Posteriormente se sugieren algunas medidas de mitigación que puedan tomarse en relación a la tecnología y uso de combustible, para la generación de energía eléctrica con un menor número de emisiones, así como también valorar la implementación de elementos de compensación como una opción de la industria eléctrica para la disminución de CO₂ en la atmósfera (almacenamiento de CO₂); evaluando los elementos relevantes para estructurar los estudios de impacto ambiental de una planta de energía eléctrica y sugiriendo cambios en la legislación y normatividad vigente para una regulación óptima en materia de impacto ambiental.

Esta investigación ha reflejado que la variabilidad natural del clima se suma a los diagnósticos de los cambios climáticos producidos por el hombre. En México hay riesgos potenciales que el calentamiento global puede plantear dentro de la economía mexicana; unos son de tipo claramente ambiental y se refieren a la vulnerabilidad de nuestro país al fenómeno, en lo que respecta a sequía y precipitación pluvial, agricultura, costas y ecosistemas.

El dióxido de carbono es el gas más importante en el efecto invernadero y, por lo tanto, uno de los responsables del posible calentamiento global. Sin embargo, se tienen todavía incertidumbres que resultan relevantes sobre las emisiones y captura de este gas, particularmente en los ecosistemas forestales.

En cuanto a la electricidad, servicio básico para mejorar la calidad de vida del ser humano, pero que desafortunadamente durante su proceso de generación, provoca una serie de trastornos negativos al ambiente y a la salud humana que aunado con el calentamiento global de la Tierra, se ha provocado el adelgazamiento de la capa de ozono, acidificación, deforestación, degradación de las aguas, cenizas, radiaciones ionizantes, residuos industriales, contaminación por metales pesados.

De acuerdo al análisis de emisiones realizado sobresale que de las 32 entidades federativas que comprenden nuestro país, 10 no cuentan con ninguna capacidad de generación instalada con base en combustibles fósiles o bien presentan emisiones insignificantes para los 4 contaminantes considerados (CO₂, SO₂, NO_x, Hg). Estos estados son: Aguascalientes, Chiapas, Michoacán, Morelos, Nayarit, Oaxaca,

Puebla, Tabasco, Tlaxcala y Zacatecas. Se analizaron las emisiones para los años 1999, 2001 y 2002, con un total de 92,023.46, 106,522.3 y 96,290.26 Kt respectivamente, siendo 1999 el año con menos emisiones pero también con menos capacidad instalada (22,669 MW), para el 2001 se presenta una mayor cantidad de emisiones ya que para este año se registró un aumento del 11.72% en la capacidad instalada. En cuanto al 2002 se observa una tendencia a la reducción de emisiones de un 9.6 % respecto al 2001. En el 2001 y 2002 no hay una diferencia significativa en la capacidad de generación de todas las centrales en México y en general, parece que hay una tendencia a la reducción de emisiones. En particular, es significativa la reducción de CO₂, lo que probablemente es el resultado de un factor más alto de carga de la central para las centrales más limpias y un menor uso de unidades pico. Coahuila, Veracruz, Hidalgo, Colima y Guerrero son los estados con las centrales eléctricas que emiten mayores cantidades de CO₂ en comparación con otros contaminantes.

También se realizó una comparación entre el potencial de captura de carbono por entidad federativa y el CO₂ emitido por las plantas de generación de energía eléctrica para el año 1999, teniendo que Guerrero, Quintana Roo, Jalisco y Campeche, son los estados que capturan más CO₂ que la que emite la generación de energía eléctrica. Mientras que Coahuila, Veracruz, Hidalgo, Colima y Chihuahua, son los 5 estados con mayores emisiones de CO₂, siendo Veracruz y Chihuahua los que tienen una mayor captura de CO₂ en relación al CO₂ emitido. Durango presenta un potencial de captura (1946.57 Kt/año) no muy por debajo del CO₂ emitido (2337.32 Kt/año) por la generación de electricidad.

ABSTRACT

The objective of the present study is to contribute to the analysis of the problem of global warming and the electrical industry in Mexico. The generation of electricity generation has been considered as a good indicator of growth. However, the environmental consequences of human activity and growth have not been completely understood and evaluated, in particular the implications of modifying the average temperature of the earth and in consequence inducing changes in climate, water availability, human settlements and economic, social and political implications.

The dioxide of carbon is the most important gas in the greenhouse effect and, therefore, one of those responsible for the possible global warming. However, they are uncertainties that are important on the emissions and capture of this gas, particularly in the forest ecosystems.

According to air emissions available information it is possible to conclude that of the 32 federative entities that understand our country, 10 don't have any generation capacity installed with base in fossil fuels or they present insignificant emissions for the 4 considered pollutants (CO₂, SO₂, NO_x, Hg). These states are: Aguascalientes, Chiapas, Michoacán, Morelos, Nayarit, Oaxaca, Puebla, Tabasco, Tlaxcala and Zacatecas. The emissions were analyzed for the years 1999, 2001 and 2002, with a total of 92,023.46, 106,522.3 and 96,290.26 Kt respectively, being 1999 the year with less emissions but also with less installed capacity (22,669 MW), for the 2001 a bigger quantity of emissions is presented since for this year it registered an increase of 11.72% in the installed capacity. As for the 2002 a tendency is observed to the reduction of emissions of 9.6% regarding the 2001. In 2001 and 2002 there is not a significant difference in the capacity of generation of all the power stations in Mexico and in general, it seems that there is a tendency to the reduction of emissions. In particular, it is significant the reduction of CO₂, what is probably the result of a higher factor of load of the power station for the cleanest power stations and a smaller use of units pick. Coahuila, Veracruz, Hidalgo, Colima and Guerrero are the states with the electric power stations that emit bigger quantities of CO₂ in comparison with other pollutants.

Likewise was carried out a comparison among the potential of capture of carbon for federative entity and the CO₂ emitted by the plants of electric power generation for the year 1999, having that Guerrero, Quintana Roo, Jalisco and Campeche, they are the states that capture more CO₂ that the one that emits the electric power generation. While Coahuila, Veracruz, Hidalgo, Colima and Chihuahua, they are the 5 states with bigger emissions of CO₂, being Veracruz and Chihuahua those that have a bigger capture of CO₂ in relation to the CO₂ emitted. Durango presents a capture potential (1946.57 Kt/año) not very below the CO₂ emitted (2337.32 Kt/year) for the electricity generation.

The thesis also discusses the present environmental legal framework applicable to the assessment of the impacts of power plants and the air emissions regulations. It is also discussed the way the government and other institutions are approaching the problem of global warming.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad nuestro medio ambiente se encuentra amenazado por el fenómeno conocido como calentamiento global. Los gases emitidos resultado del progreso y desarrollo industrial, en la forma de gases de efecto invernadero como el dióxido de carbono, han atrapado en la atmósfera el calor suficiente para elevar medio grado centígrado la temperatura del aire promedio de la superficie terrestre durante los últimos 150 años. De persistir esta tendencia, podrían alterarse los patrones climáticos en todo el planeta. Sabemos que el clima terrestre depende de una combinación de factores que interactúan de forma sutil y compleja y no alcanzamos todavía a comprenderlo del todo. Es posible que el calentamiento observado durante este siglo sea resultado de variaciones naturales, aunque el incremento ha sido mucho más rápido que el atestiguado por el planeta durante los últimos cien siglos (Houghton *et al*, 1990, 1992; Garduño, 1994).

Los conceptos calentamiento global y cambio climático están estrechamente interrelacionados y en ocasiones son confundidos o utilizados como sinónimos. Son fenómenos provocados total o parcialmente por el aumento en la concentración de gases de invernadero en la atmósfera, principalmente el CO₂ relacionado directa o indirectamente con actividades humanas como el uso de combustibles fósiles y la deforestación. La Convención Marco de la Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), en su Artículo 1, define el cambio climático como: "cambio del clima atribuido directa o indirectamente a actividades humanas que alteran la composición de la atmósfera mundial, y que viene a añadirse a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables". La CMNUCC hace una distinción entre "cambio climático", atribuible a actividades humanas que alteran la composición de la atmósfera, y "variabilidad del clima", atribuible a causas naturales. (IPCC, 2001). Estudios científicos indican que el cambio climático ya está teniendo efectos sobre la biosfera (Hughes, 2000; Parmesan and Yohe, 2003; Root, *et al.*, 2003; Walther, *et al.*, 2002).

El clima global de la Tierra es un sistema dinámico que está gobernado por variables tales como la cantidad de radiación solar, la química de la atmósfera, cantidad y tipos de nubes, y la influencia de la biosfera. Un cambio en la temperatura puede originar cambios en otros parámetros que afectan el clima, como es el caso de elementos climáticos como las nubes o precipitaciones. (Gardiner, 2004). La energía recibida por la Tierra desde el Sol, debe ser balanceada por la radiación emitida desde la superficie terrestre. En la ausencia de cualquier atmósfera, la temperatura superficial sería aproximadamente -18 °C . (Miller, 1992). Sin embargo, afortunadamente para nosotros, la temperatura media de la Tierra es 33 °C más alta, es decir, alrededor de 15 °C (Miller, 1992). Esto es debido a la presencia de pequeñas cantidades de vapor de agua (0 – 2 %), de CO₂ (0.03 a 0.04%) en la atmósfera, así como de muy pequeñas cantidades de otros gases que absorben parte de la radiación térmica de la superficie terrestre e impiden que escapen

hacia el espacio exterior, constituyendo así el *efecto de invernadero* natural de nuestro planeta (Bazzaz, 1996).

La variabilidad del clima se refiere a variaciones en las condiciones climáticas medias y otras estadísticas del clima (como las desviaciones típicas, los fenómenos extremos, etc.) en todas las escalas temporales y espaciales que se extienden más allá de la escala de un fenómeno meteorológico en particular. La variabilidad puede deberse a procesos naturales internos que ocurren dentro del sistema climático (variabilidad interna), o a variaciones en el forzamiento externo natural o antropógeno (variabilidad externa) (IPCC, 2001).

La industria son los principales productores de contaminantes a la atmósfera, cuyas características dependen fundamentalmente de las calidades de los combustibles y materias primas empleadas, del tipo de proceso y de la tecnología que se utiliza. Los principales centros industriales de emisión de ese tipo de contaminantes son las chimeneas de las instalaciones de combustión para la generación de energía eléctrica y calor industrial, y de los procesos industriales propiamente dichos. Los sectores industriales con un potencial contaminante mayor son: las industrias energéticas, farmacéuticas, del papel y alimentarias; así como la siderurgia, metalurgia no férrea y las industrias químicas inorgánicas y orgánicas. Las centrales termoeléctricas ocupan un lugar preponderante como fuentes de contaminación atmosférica de origen industrial, tanto por el volumen como la variedad de los contaminantes que emiten. Los principales contaminantes emitidos a la atmósfera son: los óxidos de azufre, NO_x y el carbono, partículas, metales traza, hidrocarburos y compuestos de cloro y flúor (Martín *et al*, 2000).

En México, la industria en los últimos años, ha observado transformaciones estructurales importantes cuyas consecuencias sobre el medio ambiente son complejas y aún difíciles de cuantificar con exactitud. Ello es imposible de determinar exclusivamente desde un punto de vista teórico por lo que debe de considerarse con especial énfasis la evidencia empírica disponible que es aún ciertamente escasa y fragmentada. El crecimiento económico de un país genera beneficios pero también tiene diversos costos ambientales originados en la inexistencia e imperfección de los mercados, derechos de propiedad mal definidos o inexistentes, externalidades negativas, especialización en la producción y problemas de distribución del ingreso, empleo y pobreza extrema que se traducen en una explotación irracional de los recursos naturales y en el aumento de la contaminación. En general, para los países en vías de desarrollo, los costos ambientales se estiman entre el 3% y el 5% del Producto Interno Bruto (PIB) (Repetto, 1993) y, además el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) estima que la degradación ambiental en México es alrededor del 11% del PIB.

Actualmente el sector energético participa con 3.3% del PIB nacional y genera energía eléctrica por medio de tecnologías más avanzadas. Desde las hidroeléctricas hasta las termoeléctricas y plantas de energía solar, eólica y nuclear atienden casi 90 millones de usuarios que representan el 95% de la

población. Sin embargo, todo proceso industrial tiene un doble efecto. Por un lado beneficia al desarrollo económico y al bienestar de la población, pero por otro genera daños en el medio ambiente (Ochoa, 2004)

México se cuenta entre los principales productores y exportadores de electricidad (SENER, 2004a). En 2005, generó aproximadamente 248,079 GW¹/h de electricidad a partir de una base de capacidad instalada de 53,858 MW². A semejanza de muchos países en desarrollo y desarrollados, la mayoría de la capacidad instalada de generación en México se basa en combustibles fósiles. Sin embargo, el perfil de generación de electricidad de México difiere significativamente del de muchos otros países en desarrollo. Por ejemplo, en la capacidad instalada de la India y China predomina la generación termoeléctrica por carbón, mientras que en México predomina el combustible en la generación total. Esta diferencia incide de manera importante en la definición de las características de las emisiones del sector de generación de electricidad mexicana (Vijay *et al*, 2004).

En 1980 la capacidad instalada de generación de energía eléctrica en México fue de 14,625 MW, cifra que aumentó a más del doble en 20 años ya que ascendió a 38,518 MW en 2001 (SENER, 2004a). En promedio, México ha incrementado cada año alrededor de 1,300 MW de capacidad de generación neta (Vijay *et al*, 2004).

Los impactos ambientales asociados con las formas más convencionales de generación de electricidad con frecuencia no se limitan a las inmediaciones del lugar donde operan. La capacidad de transporte a distancias medianas y largas de los contaminantes emitidos por las centrales eléctricas (ozono de bajo nivel y sus precursores sobre todo NO_x, SO_x, partículas y Hg, por nombrar algunos) ha sido bien documentada (CCA, 1997).

En nuestro país a nivel constitucional, la generación de energía eléctrica se encuentra regulada en el artículo 27, párrafo sexto, el cual enuncia:

“Corresponde exclusivamente a la nación generar, conducir, transformar, distribuir y abastecer energía eléctrica que tenga por objeto la prestación de servicio público. En esta materia no se otorgarán concesiones a los particulares y la nación aprovechará los bienes y recursos naturales que se requieran para dichos fines.”

En este sentido, el propio artículo 27 constitucional, en su párrafo cuarto, prescribe el aprovechamiento racional de los recursos naturales e impone al Estado el deber de adoptar las medidas necesarias para evitar su destrucción.

“La nación tendrá en todo tiempo el derecho de imponer a la propiedad privada las modalidades que dicte el interés público, así como el de regular, en beneficio social, el aprovechamiento de los elementos naturales susceptibles de apropiación, con objeto de hacer una distribución equitativa de la riqueza pública, cuidar de su conservación, lograr el desarrollo equilibrado del país y el mejoramiento de

¹ GW Gigawatt = 10⁶ KW

² MW Megawatt = 10⁶ Watts

las condiciones de vida de la población rural y urbana. En consecuencia, se dictarán las medidas necesarias para ordenar los asentamientos humanos y establecer adecuadas provisiones, usos, reservas y destinos de tierras, aguas y bosques, a efecto de ejecutar obras públicas y de planear y regular la fundación, conservación, mejoramiento y crecimiento de los centros de población; para preservar y restaurar el equilibrio ecológico; para el fraccionamiento de los latifundios; para disponer, en los términos de la ley reglamentaria, la organización y explotación colectiva de los ejidos y comunidades; para el desarrollo de la pequeña propiedad rural; para el fomento de la agricultura, de la ganadería, de la silvicultura y de las demás actividades económicas en el medio rural, y para evitar la destrucción de los elementos naturales y los daños que la propiedad pueda sufrir en perjuicio de la sociedad”

La protección del medio ambiente se ha basado tradicionalmente en la adopción de medidas correctoras cuando el daño ya se había producido. Hoy en día, se está generalizando el concepto de prevención, a través de medidas que se anticipen en lo posible a la aparición del problema (Martín *et al*, 2000).

Como hemos mencionado anteriormente los cambios climáticos registrados en los últimos años en el planeta se deben principalmente al aumento de la concentración de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera, como el CO₂, metano, óxido nitroso y clorofluorocarbonos, y se espera que para el año 2100 modifiquen la temperatura superficial y se produzca un ascenso del nivel del mar, con efectos dramáticos en muchas regiones.

México es un país vulnerable al cambio climático (calentamiento global de la atmósfera terrestre), por lo que se espera que en unos cien años se verá afectado en su potencial agrícola en el centro y en el norte del país; la desertificación, las sequías y la erosión serán mayores. Afectará los sistemas forestales e hidrológicos, aumentando la presencia de huracanes, entre otros fenómenos naturales (Magaña y Gay-García, 2002).

Nuestro País figura entre los 15 países de mayor emisión de GEI, aunque no rebasa 2 % de las emisiones globales de bióxido de carbono, 70 % provienen del sector energético, industrial y transportes, y 30 % del sector forestal y agrícola.

Por lo que es necesario analizar este problema, para tomar medidas preventivas y protegernos ante la continua generación de GEI, para lo cual se necesita fomentar programas y proyectos de investigación sobre el cambio climático global y sus implicaciones para México; establecer estrategias con el sector privado para la identificación de mecanismos compensatorios, tales como incentivos económicos para procesos productivos limpios o acciones de prevención o mitigación y la puesta en marcha de normas para la eficiencia energética.

Aquí la importancia de este trabajo, ya que la revisión e integración de la información existente sobre el cambio climático, emisiones de gases, actividades industriales, secuestro de CO₂ etc., es necesario, pues nos llevará a conocer el impacto que ha tenido el aumento de emisiones en la atmósfera

como producto de actividades industriales (generación de energía eléctrica) sobre los ecosistemas y el futuro de éstos en nuestro país. Además de proporcionar a tomadores de decisiones la información necesaria que permita mejores regulaciones en materia ambiental.

El objetivo general de este trabajo, es evaluar como un proceso de cambio global como lo es el Calentamiento de la Tierra por la acumulación de gases de efecto invernadero producto de la quema de combustibles fósiles y de otras actividades humanas (industria eléctrica), se ha manejado a nivel nacional, su problemática y los impactos que éste tiene sobre el desarrollo o el establecimiento de los ecosistemas.

Como objetivos particulares para esta investigación tenemos:

- Producir un diagnóstico de la información que se ha generado sobre el calentamiento global, haciendo énfasis de la actuación de México ante esta problemática.
- Identificar las principales actividades industriales del país y evaluar porqué la energía eléctrica se considera como una de las actividades antropogénicas principales que influye en el aumento de los gases de efecto invernadero.
- Identificar los impactos que ha tenido el aumento de las emisiones atmosféricas, producto de las actividades industriales sobre los ecosistemas terrestres.
- Sugerir algunas medidas de mitigación que puedan tomarse en relación a la tecnología y uso de combustible, para la generación de energía eléctrica con un menor número de emisiones, así como también evaluar la implementación de elementos de compensación como una opción de la industria eléctrica para la disminución de CO₂ en la atmósfera (almacenamiento de CO₂).
- Evaluar los elementos relevantes para estructurar los estudios de impacto ambiental de una planta de energía eléctrica.
- Evaluar y sugerir cambios en la legislación y normatividad vigente para una regulación óptima en Materia de Impacto Ambiental.

CAPITULO I. CALENTAMIENTO GLOBAL

En este primer capítulo conoceremos como los impactos de un clima cambiante en varios sectores de la actividad humana (generación de energía eléctrica) son lo que ha llevado a la sociedad, incluyendo sus instituciones gubernamentales, a interesarse en el tema del calentamiento global y el como las naciones desarrolladas y en desarrollo se han interesado por el análisis de los potenciales impactos del cambio climático, de la vulnerabilidad de las regiones a condiciones extremas en el clima, así como de las medidas potenciales de adaptación ante tales cambios.

El clima de la Tierra ha variado notablemente en el transcurso de la historia del Planeta. El actual difiere muchísimo del que dominaba hace 100 millones de años. Cuando los dinosaurios habitaban el planeta y las plantas tropicales florecían en las altas latitudes; difiere incluso de lo que era hace 18,000 años, cuando los hielos cubrían una zona extensísima del hemisferio norte (Figura 1). Lo anterior muestra la variabilidad del clima terrestre. En parte, el cambio climático se verá impulsado por causas naturales, como los cambios en los parámetros orbitales. Pero estos cambios climáticos, a diferencia de los registrados del pasado, tendrán probablemente también una nueva fuente: la actividad humana. Desde una perspectiva paleoclimática, los cambios en el clima son normales, y son parte de la variabilidad natural del planeta Tierra,

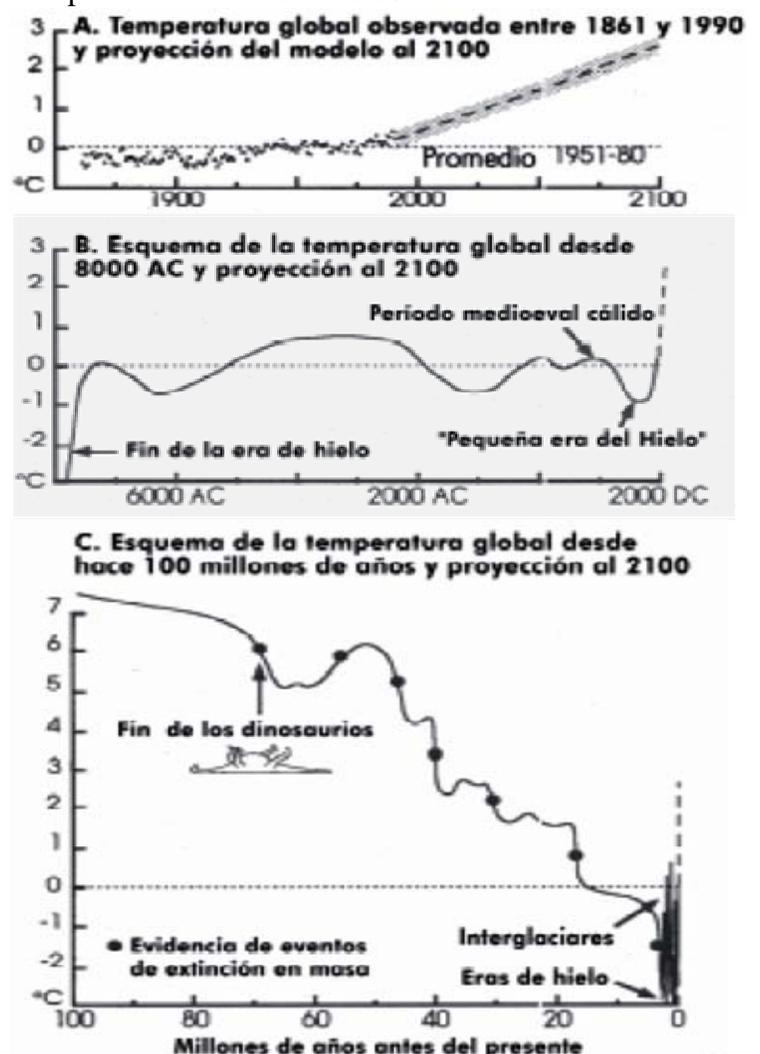


Figura 1. A) Esquema de la temperatura global compilada de los registros del IPCC 1990. B) Esquema de la temperatura global estimada de registros geológicos adaptados de Crowley and North (1988) a escala para la temperatura global de acuerdo a Crowley (1989). C) Dinosaurios de David Catling. Fuente: Climate Change Information Kit (2004)

relacionada a las interacciones entre la atmósfera, océano y continentes, así como los cambios en la cantidad de radiación solar que llega a la misma (Meléndez, 1999).

El calentamiento mundial registrado en el siglo XX se relaciona con una serie de cambios presentados en otros factores climáticos, así como en el ciclo hidrológico y otros ciclos biogeoquímicos del planeta. Durante el último siglo ha habido una disminución de la superficie terrestre cubierta por nieve o hielo, se ha reducido el tiempo en que algunos lagos y ríos permanecen congelados durante el año; se registró un aumento en el nivel medio del mar; ha habido cambios en los patrones de precipitación, intensidad de los vientos, nubosidad y en la frecuencia e intensidad de eventos climáticos extremos (IPCC, 2001). Fenómenos internos del sistema climático, como “El Niño” y su complemento “La Niña”, han aumentado su frecuencia e intensidad durante el siglo XX (Jones, *et al.*, 2001; Fedorov & Philander, 2000). Por otra parte también este calentamiento es atribuido, por muchos científicos, al efecto invernadero causado por las actividades humanas. Otros sugieren que existen otros factores responsables del mismo, tales como cambios naturales en el número y tamaño de erupciones volcánicas o el incremento de la radiación solar. Éste último punto de vista es el tomado por paleoclimatólogos, los cuales suministran información sobre estos cambios del ambiente a largo plazo, que quizás son la causa fundamental de los cambios climáticos durante años (Meléndez, 1999).

El efecto invernadero (figura 2) se debe a que ciertos gases en la atmósfera (nitrógeno (78.3%), oxígeno (21.0%), argón (0.3%), dióxido de carbono (0.03%), helio, neón y xenón) permiten que la mayor parte de la radiación solar incidente penetre hasta la superficie del planeta, mientras que se absorbe y reemite parte de la radiación infrarroja que el planeta reirradia al espacio exterior. Cuando mayor es la concentración de los gases de invernadero, menor es la cantidad de radiación infrarroja que el planeta emite libremente al espacio exterior. De esta manera, al aumentar la concentración de gases de invernadero, se incrementa la cantidad de calor atrapado en la atmósfera, dando origen a que se eleve la temperatura superficial del



Figura 2. El Efecto Invernadero

Fuente: UNEP/GRID-Arendal

planeta. De mantenerse constantes las concentraciones de los gases de invernadero, la temperatura de la superficie terrestre estaría en equilibrio (Ordoñez, 1999).

La concentración global de dióxido de carbono ha aumentado desde un valor preindustrial de aproximadamente 280 ppm, a 379 ppm en el año 2005. La concentración atmosférica de dióxido de carbono en el año 2005 excede largamente el rango de valores naturales de los últimos 650.000 años (180 a 300 ppm) determinados a partir de mediciones en los hielos. La tasa anual de incremento en la concentración de dióxido de carbono fue superior durante los últimos 10 años (1995 a 2005 promedio: 1,9 ppm por año), de lo que ha sido desde que existen mediciones atmosféricas directas y continuas (1960 a 2005 promedio: 1,4 ppm por año), aún cuando existan variaciones en las tasa de crecimiento de un año a otro. (Figura 3) (IPCC, 2007).

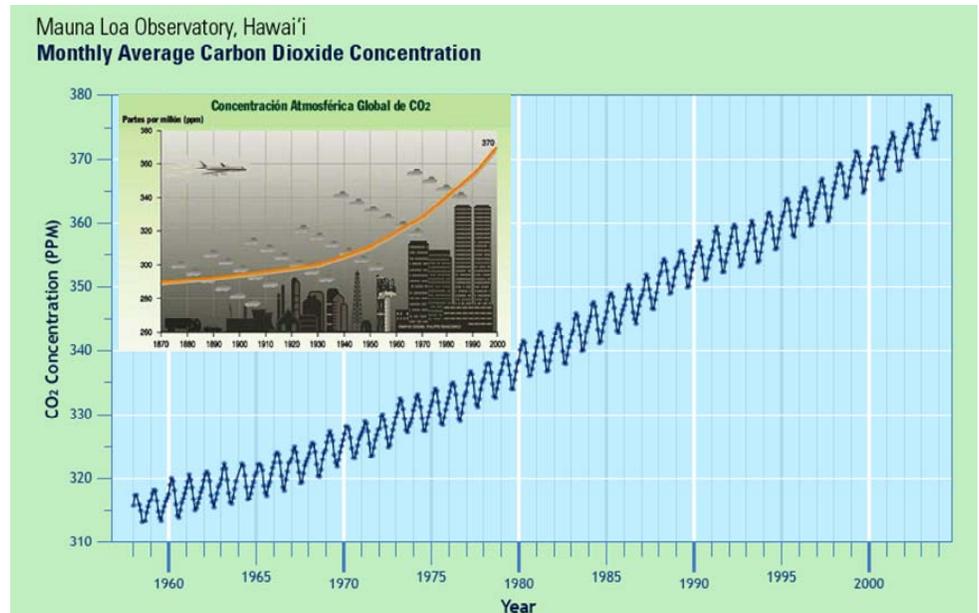


Figura 3. Concentración Atmosférica Global de CO₂ Adaptado: Mauna Loa Observation y UNEP_GRID- Arendal

El calentamiento global se ha definido como el aumento progresivo y gradual de la temperatura media de la superficie terrestre, responsable de los cambios en los patrones climáticos mundiales. Aunque en el pasado geológico se ha presentado un aumento de la temperatura global como resultado de influencias naturales, el término calentamiento global se utiliza más para referirse al calentamiento de la superficie terrestre, registrado desde principios del siglo XX y relacionado con el incremento en la concentración de los gases de invernadero en la atmósfera (González, 2003).

En general podemos clasificar en dos las fuentes del cambio climático. La primera proviene de fenómenos naturales que dependen de mecanismos internos y externos del planeta. Los primeros son producto de la interacción entre la atmósfera, los océanos, las capas de hielo (criosfera), los organismos vivos (biosfera) y los suelos, sedimentos y rocas, es decir los componentes del sistema climático. Los mecanismos externos operan desde fuera del sistema climático, incluyen variaciones en la órbita e inclinación del eje de rotación de la Tierra y cambios en el flujo solar. Aquí es importante

mencionar la teoría de Milankovitch quien llegó a la conclusión de que los cambios de insolación que se producen a 65°N son los responsables de los cambios climáticos cuaternarios. Según su modelo el crecimiento de los hielos continentales y por tanto el inicio de una era glaciaria necesita de una serie de factores críticos: (1) poca inclinación del eje de rotación (lo que produciría un gran gradiente latitudinal de temperatura); (2) máxima excentricidad en la elíptica de la órbita (la Tierra está más lejos del Sol) y (3) la Tierra estaba más cerca del Sol (perihelio) durante el invierno boreal (produciéndose inviernos más cálidos y veranos más fríos en el Hemisferio Norte). Con base a esto último se ha explicado la alternancia entre épocas glaciarias cada 100 mil años y periodos interglaciarios con una duración media de 15 a 20 mil años en el Cuaternario (Mackenzie, 1998). La segunda fuente es antropogénica, ya que muchas de las actividades desarrolladas por el hombre generan gases que acentúan el efecto invernadero, por ejemplo: la quema de combustibles fósiles y la eliminación de la vegetación forestal y su sustitución por otra cubierta vegetal, desprenden dióxido de carbono; los arrozales, la fuga de gas y la fermentación de materia orgánica generan metano (CH₄); la quema de biomasa y el uso de fertilizantes emiten óxido nitroso (N₂O); y los clorofluorocarbonos (CFC) que son utilizados en la industria frigorífica, en el aire acondicionado y aerosoles. En conjunto, las mayores concentraciones de estos gases en la atmósfera intensifican el efecto invernadero y por lo tanto elevan la temperatura del planeta (Vargas y Leo, 2003).

Once de los 12 últimos años (1995 a 2006) se posicionan entre los 12 años más calientes entre los años donde existen registros instrumentales de temperaturas promedio globales de superficie (desde 1850). La tendencia lineal actualizada de los últimos 100-años (1906 a 2005) de 0.74 °C es más pronunciada que la tendencia de 0.6 °C correspondiente para los años 1901 a 2000 entregada en el IPCC 2001 Figura 4. La tendencia lineal de calentamiento para los últimos 50 años (0.13 °C por década) es cerca del doble que la de los últimos 100 años.

El incremento total de temperatura desde

1850 a 1890 al 2001 a 2005 es de 0.76 °C. El efecto calórico de las zonas urbanas es real pero local, y

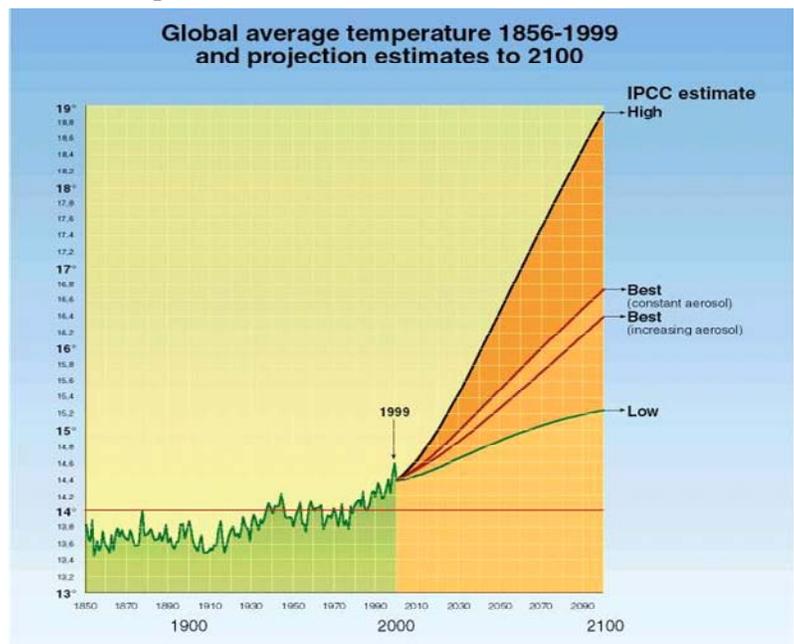


Figura 4. Temperatura promedio Históricas y proyecciones estimadas al año 2100 Fuente: IPCC, 2001

tiene una influencia despreciable en estos valores (menos de 0.006°C por década sobre la superficie terrestre y de 0°C sobre los océanos). (IPCC, 2007).

I.1 EL EFECTO INVERNADERO, GASES DE EFECTO INVERNADERO Y AEROSOL

El clima de la Tierra está dirigido por un flujo de energía continuo desde el Sol. Esta energía llega principalmente en la forma de luz visible. Aproximadamente un 30 % es devuelto al espacio en forma inmediata, pero la mayoría del restante 70 % pasa a través de la atmósfera para calentar la superficie terrestre. La Tierra debe enviar esta energía de vuelta al espacio en la forma de radiación infrarroja. Estando mucho más fría que el Sol, la Tierra no emite energía como luz visible. En cambio, emite radiación infrarroja o radiación térmica. Los gases de efecto invernadero en la atmósfera bloquean la radiación infrarroja y no le permiten escapar directamente desde la superficie del planeta al espacio. La radiación infrarroja no puede pasar directamente a través del aire como la luz visible. En su lugar, la mayor parte de la energía que sale de la tierra es transportada hacia afuera de la superficie por la convección de aire, escapando finalmente hacia el espacio desde las alturas por sobre las capas más gruesas del manto de gases de efecto invernadero (Figura 3) (IPCC, 2001).

De acuerdo al informe de evaluación Cambio Climático 2001 del IPCC, los principales gases de efecto invernadero (GEI) son el vapor de agua, el dióxido de carbono, el ozono, el metano, el óxido nitroso y los halocarbonos y otros gases industriales. Juntos, constituyen menos del 1 % de la atmósfera. Esto es suficiente para producir un efecto invernadero natural que mantiene al planeta unos 30 °C más caliente de lo que estaría si no existieran, siendo entonces esenciales para la vida tal como la conocemos. Como se ha mencionado anteriormente los niveles de todos los gases de efecto invernadero (con la posible excepción del vapor de agua) están creciendo como resultado directo de la actividad humana. Las emisiones de dióxido de carbono (principalmente proveniente de la combustión de carbón, petróleo y gas natural), metano y óxido nitroso (debido principalmente a la agricultura y a los cambios en el uso de la tierra), el ozono (generado por los escapes de gases de los autos y otras fuentes) y los gases industriales de larga vida como los CFCs, los hidrofluorocarbonos (HFCs) y los perfluorocarbonos (PFCs) están cambiando la forma en que la atmósfera absorbe la energía. Los niveles de vapor de agua también pueden estar creciendo debido a una “retroalimentación positiva”. Todo esto está sucediendo a una velocidad sin precedentes. El resultado se conoce como “un incremento del efecto invernadero”.

Un mecanismo de interacción entre procesos del sistema climático se llama retroacción climática cuando el resultado de un proceso inicial desencadena cambios en un segundo proceso que, a su vez, influye en el proceso inicial. Un efecto de retroalimentación positiva intensifica el proceso original, y una negativa lo atenúa (IPCC, 2001).

El sistema climático debe ajustarse a los niveles en aumento de los gases de efecto invernadero para mantener el balance energético global. En el largo plazo, la Tierra debe deshacerse de energía en la misma proporción en que la recibe del Sol. Ya que el manto más grueso de gases de efecto invernadero ayuda a reducir la pérdida de energía en el espacio, el clima debe cambiar de alguna forma para restaurar el balance entre la energía que ingresa y la que sale. Este ajuste incluirá un “calentamiento global” de la superficie de la Tierra y de la atmósfera baja. El calentamiento es el modo más simple para el clima de deshacerse de la energía extra. Sin embargo, aún un pequeño aumento en la temperatura debe ser acompañado por muchos otros cambios: por ejemplo, en los patrones de la cubierta nubosa y de los vientos. Algunos de estos cambios pueden actuar para aumentar el calentamiento (retroalimentación solar positiva) y otros para contrarrestarlo (retroalimentación negativa) (Figura 5). El clima varía en forma natural, lo que hace difícil identificar los efectos del aumento de los niveles de gases de efecto invernadero. Sin embargo, un conjunto de observaciones cada vez mayor, traza la

imagen colectiva de un mundo en fase de calentamiento. Por ejemplo, el patrón de las tendencias de la temperatura en las últimas décadas se parece al patrón de calentamiento por efecto invernadero pronosticado por los modelos. Es improbable que estas tendencias se deban completamente a las fuentes conocidas de la variabilidad natural (IPCC, 2001).

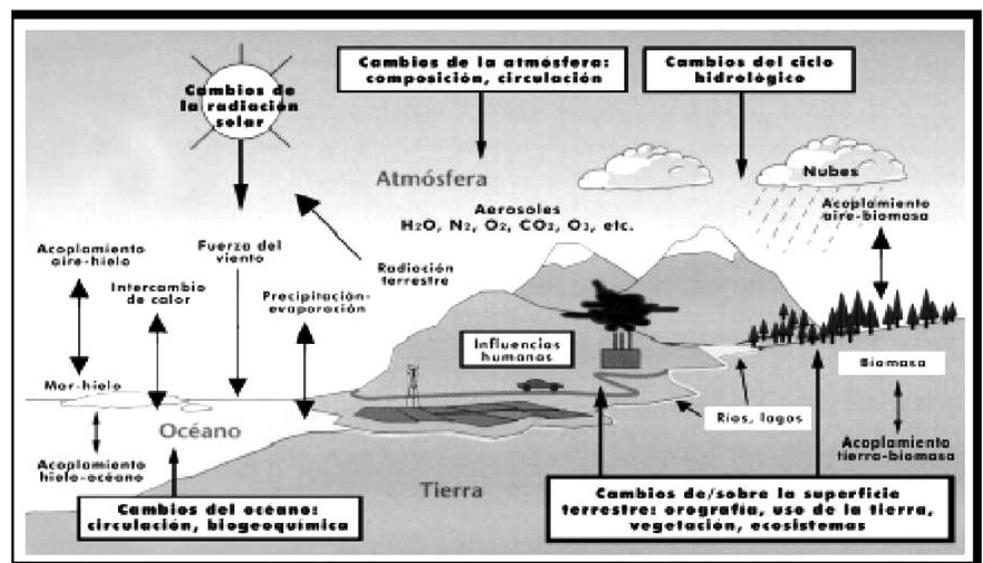


Figura 5. Sistema Climático

Fuente: IPCC 1995

Como hemos visto los gases de efecto invernadero (GEI) controlan los flujos de energía en la atmósfera al absorber la radiación infrarroja emitida por la Tierra (Figura 3). Actúan como un manto

que mantiene la superficie de la Tierra unos 30 °C más caliente de lo que estaría si la atmósfera contuviera solamente oxígeno y nitrógeno. Sus niveles son determinados por un balance entre “fuentes” y “sumideros”. Las fuentes son procesos que generan gases de efecto invernadero y los sumideros son procesos que destruyen o eliminan estos gases. Sin contar a las sustancias químicas industriales como los CFCs y HFCs, los gases de efecto invernadero han estado presentes naturalmente en la atmósfera durante millones de años. Los seres humanos, sin embargo, están modificando los niveles de gases de efecto invernadero al introducir nuevas fuentes o interferir con los sumideros naturales. El más grande contribuyente al efecto invernadero natural es el vapor de agua. Su presencia en la atmósfera no se ve afectada directamente por la actividad humana. El vapor de agua, de todas maneras, influye en el cambio climático, ya que existe una importante “retroalimentación positiva” (IPCC, 2001).

El dióxido de carbono (CO₂) (Tabla 1) es actualmente responsable de más del 60 % del “aumento” del efecto invernadero.

Tabla 1. Ejemplo de gases de efecto invernadero afectados por actividades humanas.

	CO ₂ (dióxido de carbono)	CH ₄ (metano)	N ₂ O (óxido nitroso)	CFC-11 (clorofluoro carbono- 11)	HFC-23 (hidrofluoro carbono-23)	CF ₄ (perfluoro-metano)
Concentración preindustrial	280 ppm aprox.	700 ppb aprox.	270 ppm Aprox.	cero	cero	40 ppt
Concentración en 1998	365 ppm	1,745 ppb	314 ppb	268 ppt	14 ppt	80 ppt
Tasa de cambio en la concentración ^b	1,5 ppm/año ^a	7,0 ppb/año ^a	0,8 ppb/año	-1,4 ppt/año	0,55 ppt/año	1 ppt/año
Tiempo de vida en la atmósfera	5 a 200 año ^c	12 año ^d	114 año ^d	45 año	260 año	> 50,000 año

Nota:

- La tasa ha fluctuado entre 0,9 y 2,8 ppm/año para el CO₂ y entre 0 y 13 ppb/año para el CH₄ para el periodo 1990-1999.
- La tasa se calcula para el periodo 1990-1999.
- No se puede definir un único tiempo de vida para el CO₂ debido a las diferentes tasas de captura que se producen por los diferentes procesos de remoción.
- Este tiempo de vida ha sido definido como un “tiempo de ajuste” que toma en cuenta el efecto indirecto del gas en su propio tiempo de residencia.

Fuente: “Climate Change 2001, The Scientific Basis, Technical Summary of Working Group I Report”, p38.

El CO₂ existe naturalmente en la atmósfera, pero la quema de carbón, petróleo y gas natural esta liberando el carbono almacenado en estos “combustibles fósiles” a una velocidad sin precedentes. De igual forma, la deforestación, es decir, la eliminación de la vegetación forestal y su sustitución por otra cubierta superficial, producida por el cambio de uso de suelo es la que produce mayores efectos en el ciclo de carbono, mediante la pérdida de capacidad fotosintética en la vegetación forestal y la liberación simultanea de grandes cantidades de carbono acumuladas en los ecosistemas forestales

durante largos periodos de tiempo (Apps, 2003). Las emisiones anuales de dióxido de carbono han crecido desde un promedio de 6,4 GtC¹ (23,5 GtCO₂) anual en los años 90s, a 7,2 GtC (26,4 GtCO₂) anuales en los años 2000 a 2005. Las emisiones de dióxido de carbono asociadas al cambio en el uso de los suelos se estiman en 1,6 GtC (5,9 GtCO₂) anuales en las años 90s, aunque estas estimaciones tienen un margen de incertidumbre bastante amplio (IPCC, 2007). El dióxido de carbono que se produce a partir de la actividad humana ingresa al ciclo natural del carbono. Muchos miles de millones de toneladas de carbono se intercambian en forma natural cada año entre la atmósfera, los océanos, el plancton y la vegetación terrestre. El intercambio en este sistema natural complejo y masivo es precisamente equilibrado; los niveles de CO₂ parecen haber variado menos de un 10 % durante los 10,000 años previos a la industrialización. Sin embargo en 200 años desde 1800, estos niveles han aumentado más de un 30 %. Incluso aunque la mitad de las emisiones de la actividad humana sea absorbida por los océanos y la vegetación terrestre, los niveles atmosféricos seguirán aumentando por sobre el 10 % cada 20 años (Figura 6) (IPCC, 2001).

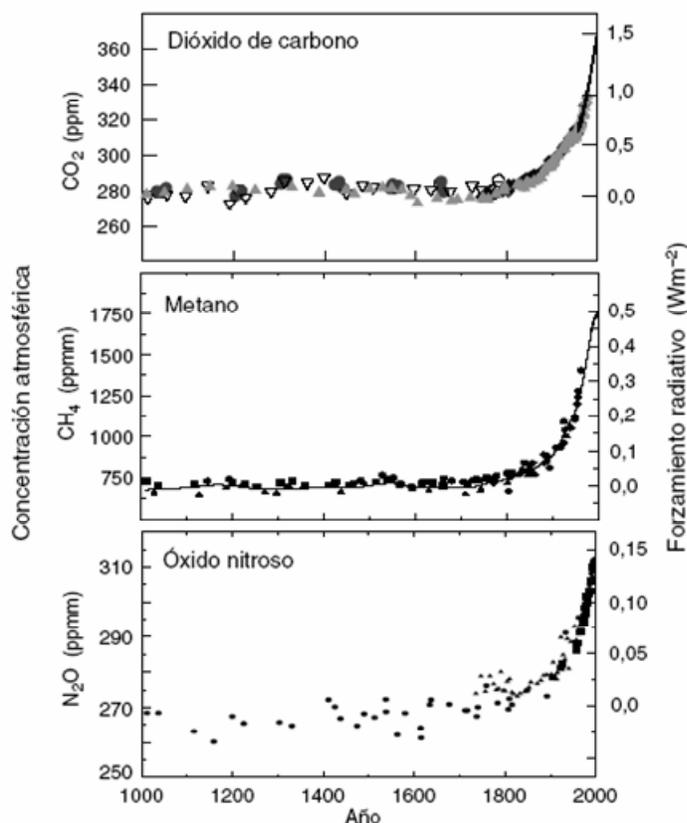


Figura 6. Indicadores de la Influencia Humana sobre la Atmósfera durante la Era Industrial. Fuente: IPCC, 2001

En segundo lugar en importancia en las influencias humanas sobre el clima están los aerosoles. Conjunto de partículas sólidas o líquidas en suspensión en el aire, cuyo tamaño oscila generalmente entre 0,01 y 10 μm y que permanecen en la atmósfera como mínimo durante varias horas. Además de provenir de distintas fuentes naturales, son producidas por el dióxido de azufre que emiten principalmente las plantas de energía eléctrica y de la quema de vegetación y desechos agrícolas. Los aerosoles desaparecen del aire en apenas unos pocos días pero se emiten en cantidades tan masivas que tienen un impacto trascendente en el clima, el cual se define

como “el promedio del estado del tiempo” o, mas rigurosamente, como una descripción estadística en

¹ Una emisión de 1 GtC corresponde a 3.67 GtCO₂.

términos de valores medios y de variabilidad de las cantidades de interés durante un período que puede abarcar desde algunos meses hasta miles o millones de años. La mayor parte de los aerosoles enfrían el clima a nivel local al reflejar la luz solar al espacio y afectar las nubes. Las partículas de aerosol pueden bloquear la luz solar directamente y también proporcionan “semillas” para que se formen nubes, y a menudo estas nubes también generan un efecto de enfriamiento. En las regiones de gran industrialización, el enfriamiento producido por los aerosoles puede contrarrestar el calentamiento por los gases de efecto invernadero que se produce en la actualidad (IPCC, 2001).

Por otro lado los niveles de metano (CH_4) (Tabla 1) ya se han multiplicado por 2.5 durante la era industrial. Las fuentes principales de este poderoso gas de efecto invernadero están en las actividades agrícolas, en particular, el cultivo de arroz y la expansión de la cría de ganado. Las emisiones de los vertederos de desechos y de las emisiones fugitivas de las minas de carbón y de la producción de gas natural también son factores que contribuyen a este aumento (IPCC, 2001). La concentración global de metano en la atmósfera ha crecido desde valores en la época pre-industrial de aproximadamente 715 ppb a 1,732 ppb a comienzos de los 90s, y es de 1,774 ppb en el año 2005. La concentración de metano en 2005 excede largamente el rango natural de los últimos 650.000 años (320 a 790 ppb) según mediciones realizadas en los hielos. Las tasas de crecimiento han declinado desde los comienzos de los 90s, consistentemente con las emisiones totales (suma de las fuentes antropogénicas y naturales) que se han mantenido casi constantes durante este período (IPCC, 2007).

El óxido nitroso (N_2O), y el ozono contribuyen al restante 20 % de aumento del efecto invernadero. La concentración global de óxido nitroso en la atmósfera ha crecido desde un valor en la época pre-industrial de aproximadamente 270 ppb a 319 ppb el año 2005. La tasa de crecimiento ha sido aproximadamente constante desde el año 1980 (IPCC, 2007). En tanto que los clorofluorocarbono (CFCs) se están estabilizando debido a los controles sobre las emisiones que se introdujeron bajo el Protocolo de Montreal para proteger a la capa estratosférica de ozono; pero los niveles de los gases de larga vida como los HFCs, PFCs y el hexafluoruro de azufre (SF_6) están aumentando. Los niveles de ozono han crecido en algunas regiones en la atmósfera baja debido a la contaminación del aire, incluso cuando dichos niveles descienden en la estratosfera (Tabla 1) (IPCC, 2001).

Las emisiones de gases de efecto invernadero de la humanidad ya han perturbado el balance energético global en aproximadamente 2.5 Wm^{-2} . Esto equivale a un 1 % del ingreso neto de la energía solar que dirige el sistema climático. Un 1 % puede parecer una cifra insignificante, pero si lo tomamos en cuenta en toda la superficie de la Tierra, suma la energía liberada por la quema de 1.8 millones de toneladas de petróleo por minuto, o más de 100 veces el consumo de energía comercial

actual de todo el mundo. En la medida en que los gases de efecto invernadero son solamente un subproducto del consumo de energía, es irónico que el monto de energía que se utiliza para las actividades humanas sea minúsculo cuando se le compara con el impacto de los gases de efecto invernadero sobre los flujos de energía naturales en el sistema climático.

I.2 LAS EVIDENCIAS SOBRE EL CALENTAMIENTO GLOBAL

Los trabajos realizados hasta finales del siglo XX dan cuenta de cambios en diferentes variables que caracterizan al clima. Hoy en día no queda duda de que la temperatura global del planeta está aumentando y de que los regímenes de lluvia están cambiando. Nunca como ahora, cambios drásticos en el clima se produjeron en escalas tan cortas de tiempo (décadas). Tal conclusión se basa en estudios que han considerado las limitaciones de los instrumentos (distribución y precisión) del pasado.

Entre otras cosas, el IPCC (2001), reporta que los aumentos en temperatura más importantes se han producido en las regiones continentales, principalmente en los valores de las temperaturas mínimas. Hay indicaciones, adicionalmente, de que el contenido de calor en los océanos ha aumentado. Las observaciones también indican que los aumentos son mayores en las latitudes medias, tal y como los modelos numéricos lo predicen. Este efecto tiene su origen en los cambios de la cubierta de hielo y nieve (disminución del albedo) registrados en décadas recientes a esas latitudes.

Uno de los resultados observacionales más interesantes es el del enfriamiento de la estratosfera baja, como lo indican los sondeos. Tal resultado también concuerda con lo físicamente esperado al aumentar la concentración de CO₂ en la atmósfera, ya que al aumentar el CO₂, la atmósfera media radia más energía al espacio. Con ello se fortalece el argumento de que es el efecto de gases como el CO₂ lo que altera el clima del planeta. Existen otras evidencias físicas que llevan a concluir que el efecto del CO₂ y otros gases de efecto invernadero en la atmósfera es real. La más clara es el hecho de que año tras año se habla del año más caliente del milenio. Los noventa resultaron la década más calurosa en mucho tiempo (Magaña, 2004). El año 1998 se consideró él más caliente del siglo, pero, al parecer, el 2005 fue el año mas caluroso del registro meteorológico con una temperatura superficial media de 14.77 °C y los 6 más calurosos has sucedido durante los últimos 8 años (CICC; 2006).

I.3 EFECTOS DEL CALENTAMIENTO GLOBAL

La especie humana es considerada la mejor evolucionada del mundo, ya que sus actividades han alterado los ecosistemas en forma global y han modificado la evolución de muchas especies

(Palumbi, 2001) y, de acuerdo a múltiples evidencias científicas, se considera que el factor antropogénico ha sido determinante en el cambio climático (Kerr, 2002; Levitus, *et al.*, 2001) aunque algunos autores reportan también una contribución natural a este calentamiento, como puede ser la radiación solar y las emisiones volcánicas (Stott, *et al.*, 2000).

Se cree que el calentamiento global afectará grandemente al hombre en aspectos tales como: disminución en la producción y abastecimiento de alimentos (Everson, 1999; Aguilar, 2000; Magaña, *et al.*, 2004), reaparición de viejas enfermedades como la malaria, la fiebre amarilla y el incremento en la frecuencia de alergias y plagas (Palumbi, 2001). Se presentarán también fenómenos naturales magnificados como sequías, inundaciones, huracanes y tornados. Estos efectos son particularmente importantes para los países pobres, ya que vendrían a agravar su ya de por sí complicada situación.

I.3.1 Efectos sobre la vida y los ecosistemas.

En la Figura 7 podemos apreciar los principales efectos del cambio climático sobre la vida en la Tierra. A nivel de ecosistemas se prevén cambios en los niveles de nitrógeno, fósforo, calcio y pH del suelo; cambios en la concentración de CO₂ atmosférico, incremento de la herbivoría y en las densidades de patógenos y depredadores (Tilman and Lehman, 2001), modificación de la resistencia de los hospederos y cambios en la fisiología de las interacciones hospedero-patógeno (Coakley, 1999), incremento en el uso de pesticidas; eutroficación de los ecosistemas dulceacuícolas, marinos y terrestres; cambios en la diversidad, composición y funcionamiento de los ecosistemas, pérdida de especies (Tilman *et al.*, 2001; Tilman and Lehman, 2001). También se afectarán las interacciones de tipo multiespecies (Buse, 1999). Los cambios climáticos están afectando los comportamientos de hibernación y las migraciones en especies animales (Inouye, 2000), la abundancia de macroinvertebrados en ecosistemas marinos (Sagarin, 1999), y la evolución morfológica de gasterópodos marinos (Hellberg, *et al.*, 2001). Se prevé además que la riqueza de vertebrados ectodérmicos se incrementará en Norteamérica, disminuirá la riqueza de mamíferos y aves en el sur de Norteamérica y se incrementará en las áreas montañosas. En zonas áridas se ha observado que algunas especies animales anteriormente comunes se han extinguido localmente en las últimas décadas, mientras que otras que antes eran raras se han incrementado (Brown *et al.*, 1997).

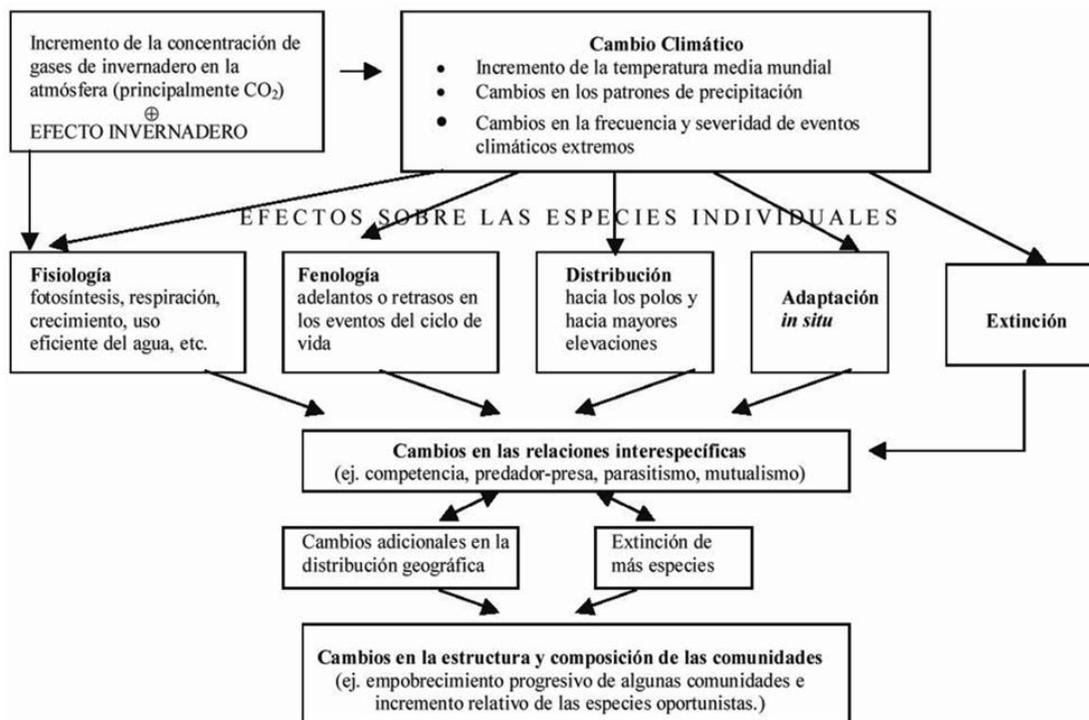


Figura 7. Vías potenciales del cambio en las comunidades y de la extinción de especies por efecto del incremento de gases de invernadero en la atmósfera. (Adaptación de Hughes, 2000).

I.3.2 Efectos sobre la vegetación.

Se han documentado ampliamente diversos efectos del cambio climático sobre las comunidades vegetales. Así, por ejemplo, se sabe que las plantas han respondido al cambio climático en dos formas principales, migración y adaptación (Etterson and Shaw, 2001); sin embargo, en la actualidad los altos niveles de fragmentación del hábitat podrían afectar las migraciones en el futuro (Schawartz *et al*, 2001). Se sabe también que históricamente el incremento en la concentración de CO₂ en la atmósfera ha permitido a los árboles desarrollarse en zonas donde la vegetación estaba restringida a plantas de mucho menor tamaño (Farquhar, 1997). Por otra parte, Peteet (2000) señala, con base en la evidencia paleontológica, que la respuesta de la vegetación a cambios climáticos rápidos se expresa mejor en los ecotonos, donde la sensibilidad al cambio climático es mayor. En los últimos años se han propuesto múltiples modelos predictivos del cambio climático, considerando en cada uno de ellos una diversidad de variables, por lo que se ha obtenido una serie de posibles escenarios, algunos de ellos contrastantes. Entre las principales predicciones de estos modelos tenemos que: En el futuro se espera que cambie drásticamente la distribución y composición de los bosques de Norteamérica (Iverson and Prasad, 2001). En un estudio para Norteamérica reportan que un moderado incremento en la temperatura produciría un incremento en la densidad de vegetación y almacenamiento de carbono en la mayor parte de Norteamérica y habría pequeños cambios en los tipos

de vegetación. En tanto que, grandes incrementos en la temperatura causarían pérdida de Carbono, modificaciones en la precipitación y grandes cambios en los tipos de vegetación, pudiendo desaparecer los bosques y convertirse en sabanas (Bachelet *et al*, 2001).

Por otra parte, estudios en ecosistemas áridos reportan que la densidad y cobertura de arbustos leñosos se ha incrementado (Brown *et al*, 1997), asimismo, se ha incrementado la herbivoría, reduciendo la biomasa de los pastos, lo cual ha favorecido el desarrollo de arbustos leñosos (Van Auken, 2000). A escala más pequeña se sabe que los cambios en la concentración del CO₂ atmosférico afecta la fisiología estomatal, la cual es de vital importancia para el intercambio de CO₂ entre las plantas y la atmósfera (Morison, 1998). Field *et al.* (1992) mencionan que las plantas responden a los desequilibrios causados por variaciones ambientales y tienden a compensarlo, al menos parcialmente. Estos mecanismos de ajuste son principalmente cambios en la capacidad bioquímica para asimilación de recursos, cambios en biomasa y cambios en la tasa de pérdida de tejido; esta adaptación permite a las plantas desarrollarse en un amplio rango de niveles de recursos; sin embargo, la plasticidad o habilidad de adecuación de las especies es limitada y grandes cambios en el balance de recursos puede ocasionar cambios en la composición de especies.

I.3.2.1 Ecosistemas: Ambientes Terrestres

Ecosistemas Forestales

Los bosques cubren un tercio de la superficie de la Tierra y se estima que contienen dos tercios de todas las especies terrestres conocidas (FAO, 2000). Los ecosistemas forestales también proporcionan una amplia gama de bienes y servicios. En los últimos 8 000 años, alrededor del 45% de la cubierta original de los bosques de la Tierra se ha modificado; la mayor parte, a causa de la deforestación durante el siglo pasado (CDB, 2007).

Los bosques son particularmente vulnerables al cambio climático dado que:

- Aun los pequeños cambios de temperatura y precipitaciones pueden tener efectos significativos en el crecimiento de los bosques. Se ha demostrado que un aumento de 1° C puede modificar el funcionamiento y la composición de los bosques (PNUMA, 2001).
- Numerosos animales grandes que habitan el bosque, la mitad de los grandes primates y casi el 9% de todas las especies conocidas de árboles ya corren un cierto riesgo de extinción (WRI, 2000).
- Las especies de árboles leñosos tienen menos posibilidades de desplazarse hacia el polo con los cambios de las condiciones climáticas.

Inicialmente, al subir las concentraciones de dióxido de carbono, el crecimiento de algunos bosques puede aumentar. No obstante, el cambio climático puede forzar a las especies a emigrar o modificar su alcance mucho más rápido de lo que su capacidad les permite. En consecuencia, algunas especies pueden morir. Por ejemplo, en Canadá, es poco probable que las poblaciones de píceas blancas logren emigrar a un ritmo similar al del cambio climático (CDB, 2007).

Ecosistemas de la Tierras Secas y Subhúmedas

Las tierras secas y subhúmedas, inclusive las áreas áridas y semiáridas, praderas, sabanas y los paisajes mediterráneos componen el hábitat de 2 mil millones de personas (35% de la población mundial). Estas tierras tienen un gran valor biológico y en ellas se da gran parte de los cultivos y del ganado que alimentan al mundo (CDB, 2007).

Las tierras secas son particularmente vulnerables al cambio climático dado que:

- Los pequeños cambios de temperatura y del régimen pluviométrico pueden tener serias consecuencias en la diversidad biológica de las tierras secas y subhúmedas.
- Las tierras secas ya sufren la presión de varias actividades, como la conversión a la agricultura, la introducción de especies invasoras, las alteraciones de los regímenes de incendios y la contaminación.

Los impactos del cambio climático en las tierras secas pueden tener repercusiones importantes en las poblaciones y las economías. Un gran número de personas dependen considerablemente de la diversidad biológica de las tierras secas. Por ejemplo, cerca del 70% de los africanos depende en forma directa de las tierras secas y subhúmedas para el sustento diario (CDB, 2007).

Se anticipan desiertos más calientes y más secos. Temperaturas más altas podrían amenazar a los organismos que ya están cerca del límite de tolerancia al calor. Por ejemplo, el cambio climático probablemente tendrá un serio impacto en Succulent Karoo, la ecorregión crítica árida o "hotspot" más rica del mundo, situada en la parte sudoeste de Sudáfrica y en el sur de Namibia. Esta región es muy sensible y se ve muy afectada por los cambios del clima. El cambio climático podría aumentar el riesgo de incendios forestales, lo que a su vez cambiaría la composición de las especies y reduciría la diversidad biológica (CDB, 2007).

Ecosistemas de Montaña

El medio montañoso cubre alrededor del 27% de la superficie de la Tierra y mantiene el 22% de la población del mundo. Dentro de estos ecosistemas numerosas especies se adaptan y se especializan, proporcionando bienes y servicios esenciales para los pobladores de esas regiones.

Las regiones montañosas ya sufren la presión de diversas actividades humanas, como el pastoreo excesivo, el abandono o la gestión inadecuada de la tierra, que reducen su resistencia natural al cambio climático. Asimismo las especies montañosas tienen una capacidad muy limitada de desplazarse a altitudes más altas como respuesta al aumento de la temperatura. Esto se da especialmente en las "islas montañosas", que a menudo están dominadas por especies endémicas (CDB, 2007).

El cambio climático tiene impactos serios en los ecosistemas de montaña, dado que produce el retiro y a veces la desaparición de las especies alpestres, que quedan atrapadas en las cumbres. Por ejemplo, en los Alpes, algunas especies de plantas han estado emigrando hacia arriba, de uno a cuatro metros por década, y algunas plantas que previamente se encontraban sólo en las cumbres han desaparecido (CMNUCC, 2007). Por otra parte, la contracción de los glaciares modifica la capacidad de retención de agua de las montañas, lo cual afecta los ecosistemas aguas abajo.

Ecosistemas Agrícolas

Un tercio de la superficie terrestre se utiliza para la producción de alimentos y es posible encontrar ecosistemas agrícolas en casi todo el mundo. Por lo tanto, la repercusión del cambio climático en la biodiversidad agrícola será amplia y variada.

El crecimiento rápido de la población modificó los sistemas agrícolas tradicionales volviéndolos intensivos. Desde el comienzo de la agricultura, hace unos 12 000 años, se han cultivado cerca de 7 000 especies de plantas para alimento. No obstante, hoy día, sólo unas 15 especies de plantas y ocho especies de animales proveen el 90% de nuestra alimentación. Numerosas características incorporadas en estas variedades modernas de cultivos provinieron de parientes silvestres, con mejor productividad y tolerancia a las plagas, enfermedades y condiciones de crecimiento cada vez más difíciles. Los parientes silvestres de los cultivos de alimento se consideran pólizas de seguro para el futuro, pues pueden utilizarse para generar nuevas variedades, capaces de hacer frente a las condiciones cambiantes (CDB, 2007).

El cambio climático puede afectar el crecimiento y la producción de las plantas mediante la propagación de plagas y enfermedades. Otros impactos previstos son: mayor exposición al estrés calórico, cambios del régimen pluviométrico, mayor lavado de nutrientes de la tierra por las lluvias intensas, mayor erosión debido a vientos más fuertes, y mayor número de incendios forestales en regiones más secas (CDB, 2007).

El estrés calórico y las tierras más secas pueden, a su vez, reducir hasta un tercio el rendimiento de las zonas tropicales y subtropicales, donde los cultivos ya están llegando al máximo de la tolerancia calórica (PNUMA, 2001).

I.3.2.2 Efectos sobre los ecosistemas terrestres de México

Los estudios relacionados con el impacto y vulnerabilidad del Cambio Climático sobre los ecosistemas forestales en México, hasta ahora han sido muy generales. Respecto al ámbito nacional se han aplicado algunos modelos de sensibilidad, así como Modelos de Circulación General en los cuales se considera un doblamiento del CO₂ en la atmósfera respecto a la línea base, en el contexto del Estudio de País (Gay 2000). Lo que se simula con estos modelos son las condiciones de temperatura y precipitación que imperarían ante esas nuevas condiciones. De acuerdo con los resultados de los estudios de Villers y Trejo (1997), más de la mitad del país (entre 50 y 57%) cambiaría sus condiciones de temperatura y precipitación, con tal magnitud que el tipo de clima que existe hoy podrá ser clasificado como otro subtipo. Este cambio supone, entonces, que las comunidades que se establecen actualmente en esas áreas, se verían afectadas y, por lo tanto, tendrían que cambiar conforme al nuevo subtipo climático. Los tres modelos aplicados en el estudio prevén un aumento en la temperatura, por lo cual el impacto más significativo ocurriría en las zonas templadas en donde se establecen comunidades vegetales como los bosques de coníferas (pinos, abetos) o latifoliadas (como los encinos), algunos pastizales naturales y matorrales. Todas estas especies que forman este tipo de comunidades no soportan las condiciones cálidas; esto significa que no poseen las adaptaciones para soportar esas temperaturas. Es de suponer que estos cambios en la temperatura tendrían efectos drásticos en la vegetación de esas zonas y su distribución se vería dramáticamente reducida, e incluso en algunos casos desaparecería.

También se ha evaluado el impacto del cambio climático sobre las principales áreas naturales protegidas terrestres del país (Villers y Trejo, 1998). Los resultados fueron contrastantes dependiendo del modelo aplicado, pero como ejemplo, se encontró que algunos bosques tropicales secos, como los que se encuentran en las reservas de Chamela-Cuixmala, Ría Lagartos y Manantlán, se verían afectados por un aumento de la lluvia y temperatura. Otros casos son las reservas de El Triunfo, Celestún y San Martín, que tendrían que soportar condiciones más secas, de acuerdo con el modelo Canadian Climatic Center Model (CCCM). También resultarían afectadas las áreas de El Abra, en San Luis Potosí, y La Mariposa Monarca, ya que estarían sujetas a condiciones más cálidas; todo esto implicaría, desde luego, una presión adicional sobre esas zonas.

Otros estudios realizados por Arriaga et al., (2001), basados en la distribución potencial actual de ciertas especies de encinos y pinos (como *Quercus peduncularis*, *Q. laeta*, *Pinus ayacahuite*, *P. chihuahuana*, *P. durangensis* y *P. hartwegii*), analizados en el escenario de cambio climático según el modelo HadCM2, concluyen que la distribución de estas especies disminuirá en promedio 30% en relación con la superficie que ocupan actualmente. Las especies que presentan mayor reducción de su área potencial de distribución actual son: *Pinus hartwegii*, con -49%, y *Quercus laeta*, con -37%. Los resultados de estos estudios apuntan en la misma dirección de los resultados reportados por Villers y Trejo (1997) para el país, pues confirman que especies con afinidades a climas templados, tenderán a reducir su representación en el país.

I.4 VULNERABILIDAD DE MÉXICO ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO

El Estudio de País para México (Gay, 2000) se inició en 1994 y se terminó en 1995; abarcó tres líneas principales de investigación: inventario de emisiones de gases de efecto invernadero, escenarios de cambio climático y la vulnerabilidad del país ante el cambio climático, en esta última sección se incluyeron siete temas: áreas costeras, agricultura, hidrología, bosques, desertificación y sequía, asentamientos humanos, energía e industria. Todos ellos, excepto áreas costeras, requirieron del desarrollo de escenarios de cambio climático, como base para el análisis de vulnerabilidad y adaptación. Los escenarios, actual y de cambio climático, se construyeron con datos observados y salidas de algunos Modelos de Circulación General (MCG). Dichos modelos son la herramienta más útil de que se dispone en la actualidad para modelar el clima y el cambio climático (Houghton, *et al.*, 1992).

Los MCG son modelos tridimensionales que deben simular necesariamente a la atmósfera y a los océanos, a nivel global. En la atmósfera incluyen los vientos, la humedad, las nubes y la concentración de los diversos gases que la componen, analizando sus variaciones temporales y sus variaciones con la altura. En el océano, estos modelos consideran las corrientes marinas, la temperatura y la salinidad y, de manera semejante a la atmósfera, estudian las variaciones de estos parámetros en el tiempo y en el espacio. Los MCG también tienen que modelar la temperatura en la superficie terrestre, los cuerpos de agua y, en ocasiones, y de manera simplificada, la orografía continental (McGuffie, *et al.*, 1997).

Estos modelos simulan las condiciones globales de temperatura, precipitación y radiación incidente, bajo condiciones actuales o bajo condiciones de una duplicación de bióxido de carbono, referidas como 1xCO₂ (330 partes por millón) y 2xCO₂, respectivamente. Las condiciones de 2xCO₂

se emplean para simular el cambio climático global (Watson, *et al.*, 1995). Para el análisis del cambio climático regional y la determinación del grado de vulnerabilidad de cada región se usaron dos métodos. El primero, consistió en incrementos arbitrarios de temperatura (+2 y +4° C) y precipitación ($\pm 10\%$ y $\pm 20\%$), así como combinaciones de ambos. Los incrementos funcionaron como pruebas de sensibilidad correspondientes a calentamiento global, bajo cambios uniformes en las condiciones climáticas sobre México. Estas pruebas de sensibilidad se realizaron en la mayoría de los análisis de vulnerabilidad en el Estudio de País: México, en donde se emplearon las salidas interpoladas de los MCG como el del *Geophysical Fluids Dynamics Laboratory (GFDL-R30)* y el del *Canadian Climate Center (CCC)*. (Magaña, *et al.*, 1997). Gracias a estos modelos se realizó la comparación entre las condiciones actuales y las que potencialmente se podrían presentar bajo un cambio climático, en el caso hipotético de que se alcanzaran incrementos de las concentraciones de GEI, tales como la duplicación efectiva del CO₂ en la atmósfera con respecto a los niveles preindustriales, entre el momento actual y el periodo comprendido entre los años 2025 y 2050, bajo un escenario normal de actividades. Los resultados de estos estudios indican que probablemente se presenten, entre otros, los siguientes fenómenos dentro del territorio nacional: modificación del régimen y la distribución espacial y temporal de las precipitaciones pluviales; cambios en la humedad del suelo y del aire, con alteraciones de los procesos de evapotranspiración y recarga de acuíferos; agudización de las sequías, desertificación del territorio y modificación potencial de la regionalización ecológica: reducción drástica de ecosistemas boscosos templados y tropicales; mayor incidencia de incendios forestales, intensificando los problemas de deforestación, erosión, liberación de carbono y pérdida de biodiversidad; alteración de cuencas hidrológicas, así como del régimen y distribución de escurrimientos superficiales e inundaciones; aumento del nivel del mar con impactos sobre ecosistemas costeros y marinos (manglares, humedales y zonas inundables); y cambios en el régimen de vientos y de insolación (Gay, 2000).

Los resultados del Estudio de País presentados sugieren que las variaciones en el ciclo hidrológico para México estarán estrechamente relacionadas con la ocurrencia de El Niño o La Niña, es decir con los ciclos de fenómeno denominado El Niño / Oscilación del Sur (ENSO). Las tendencias encontradas en la precipitación indican un aumento en las lluvias en la región norte del país en invierno, mientras que en el sur la tendencia es negativa durante los veranos. Dicho análisis indica que los fenómenos de El Niño más frecuentes e intensos de las últimas dos décadas han dejado una señal en la lluvia acumulada anual. Por tanto, es El Niño el fenómeno de mayor importancia como modulador de las lluvias en México (Magaña y Gay, 2002). Los análisis de las tendencias de

precipitación en regiones donde la temperatura ha aumentado substancialmente, indican que no sólo la lluvia acumulada puede variar, sino también la forma en que llueve. Así por ejemplo, la ciudad de México, cuya temperatura ha aumentado en más de cuatro grados centígrados desde principios de siglo, experimenta hoy en día más tormentas severas (aguaceros) que hace 50 o 100 años. Los efectos de la isla de calor, resultado de la urbanización y cambios substanciales en el paisaje se han combinado para llegar a tal condición. (Magaña y Gay, 2002).

Los riesgos potenciales más relevantes de estos cambios críticos sobre el territorio nacional se pueden identificar considerando tres grandes zonas geográficas: zona norte, zona centro y zona sur (INE, 2000).

I.4.1 Zona Norte

La zona norte, que comprende 11 entidades federativas, actualmente presenta condiciones extremas, ya que predominan los climas secos y áridos, con excepción de las partes montañosas en donde el clima es templado húmedo, templado subhúmedo y semifrío. En caso de que se presentara una duplicación en las concentraciones atmosféricas de CO₂, los climas áridos y semiáridos del norte de México podrían aumentar su área de influencia, mientras que los semifríos podrían desaparecer.

En la zona norte se localizaron los índices más graves de sequía y desertificación (Figura 8). Alrededor del 10% de todos los tipos de vegetación de los ecosistemas forestales se verían afectados

por las condiciones secas y cálidas. Grandes extensiones de pastizales y bosques templados resentirían la presencia de climas más calientes, por lo que podrían incrementarse las zonas de bosques tropicales secos y muy secos, así como las zonas de matorrales desérticos. También sería probable que determinadas

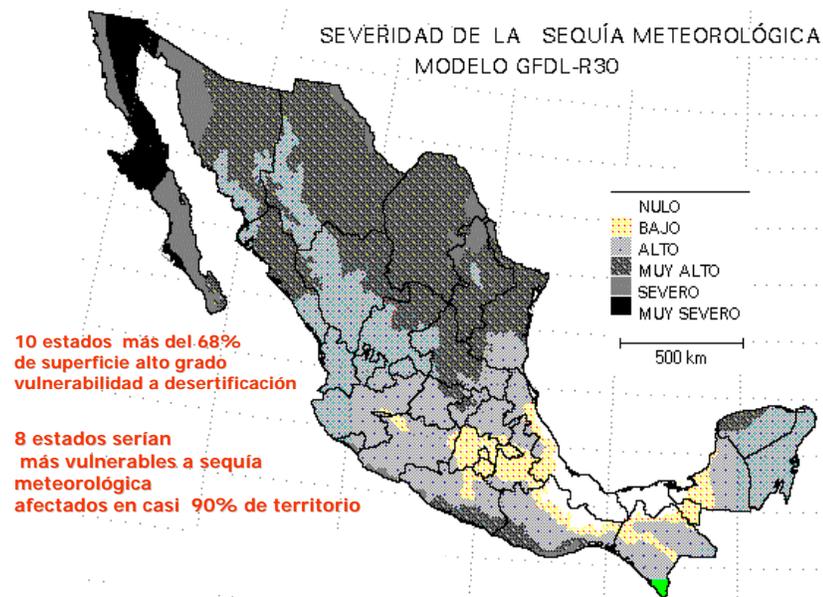


Figura 8. Norte de México: vulnerabilidad a la sequía meteorológica por cambio climático. Fuente: Hernández, et al., 1995

áreas de la región ya no fueran aptas para el cultivo de maíz de temporal (Hernández et al, 1995).

I.4.2 Zona Centro

La zona centro del país que comprende 14 estados, presenta climas cálidos subhúmedos en las costas, tanto en el Pacífico como en el Golfo de México; los semicálidos y templados en las zonas altas y montañosas, y los secos en el centro. De acuerdo con los estudios realizados, los climas templados húmedos y subhúmedos tenderían a desaparecer de la zona, aumentando los secos y los cálidos y apareciendo los áridos en pequeñas áreas. La sequía y la desertificación, aún cuando en la actualidad se presentan en grados bajos, aumentarían y se agravarían los problemas de disponibilidad de agua. Por concentrar el mayor volumen de población y de actividades económicas, esta zona presentará una situación de alta vulnerabilidad, ya que se estima que para el año 2050 varios de estos estados tendrán

más de 8 millones de habitantes, lo que implicará grandes demandas de agua y servicios que la zona no estará en condiciones de proveer (Figura 9). Los campos de cultivo de maíz de temporal pasarán de ser medianamente aptos a no aptos, disminuyendo el potencial agrícola de los estados de esta zona. Los ecosistemas forestales más

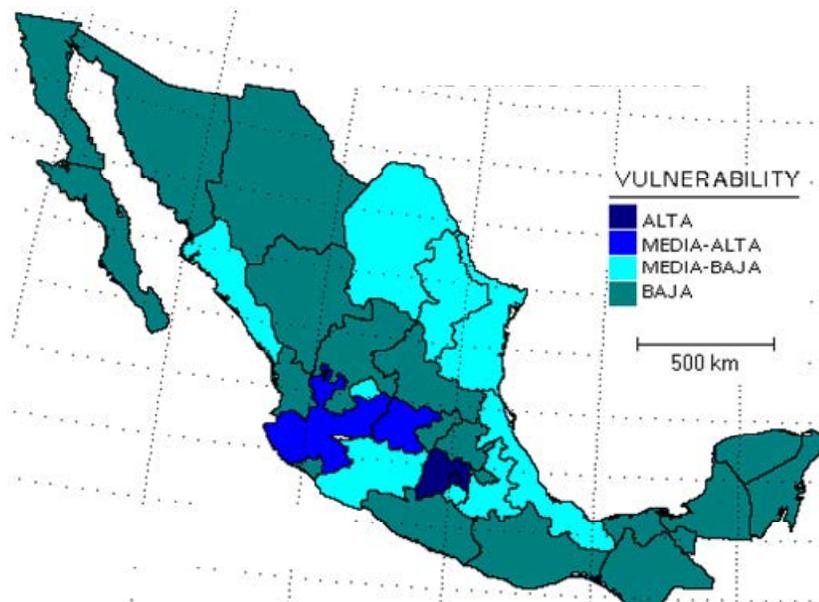


Figura 9. Vulnerabilidad de los recursos humanos al cambio climático.
Fuente: Aguilar, et al., 1995

afectados serán los bosques templados y los bosques húmedos. La zona costera también se considera con una alta vulnerabilidad debido al ascenso del nivel del mar (Aguilar *et al*, 1995).

I.4.3 Zona Sur

En la zona sur, que comprende 7 estados, los climas que predominan son los cálidos. Es la región que, para distintos escenarios, presentará los menores impactos ante un posible cambio climático. Por ejemplo, los recursos hidrológicos no rebasarán los índices de vulnerabilidad considerados en los estudios, aunque en el caso de las costas del Golfo de México y del Mar Caribe se presentan regiones susceptibles al ascenso del nivel del mar (Figura 10). El grado de sequía es relativamente bajo en la mayoría de los estados, aunque podría aumentar un poco en algunas zonas. En

algunas zonas agrícolas, la superficie apta para el cultivo de maíz de temporal desaparecería y la franja costera considerada como no apta se extendería hacia el interior. Por su parte, las zonas de producción de petróleo presentan una vulnerabilidad muy alta ante el cambio climático, ya que se pueden ver afectadas tanto por fenómenos naturales, tales como el aumento del nivel del mar y la disponibilidad de agua, como por fenómenos económicos tales como los cambios en la demanda y precio de los productos energéticos (Figura

11). Los resultados de estos estudios, deben contemplarse en el marco de un conjunto de cambios actualmente en evolución y que continuarán produciéndose como consecuencia de otros factores. En muchos casos, los impactos se apreciarán en regiones ya sometidas actualmente a diversas presiones; el cambio climático inducido por las actividades humanas debido a emisiones continuadas e

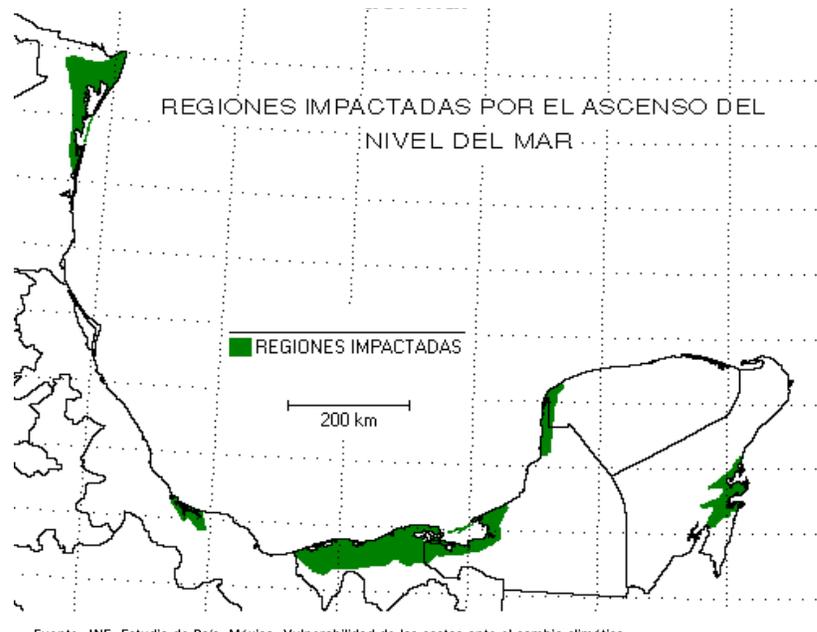


Figura 10. Zonas costeras: 5 zonas presentarían mayor vulnerabilidad ya que son costas bajas que se disponen a menos de un metro sobre el nivel del mar. Fuente: Ortiz y Méndez, 2000

incontroladas sólo acentuará estos impactos (Ortiz y Méndez, 2000).

Es importante mencionar que la distribución espacial del recurso agua en México dista mucho de ser uniforme, ya que el 50% de la población cuenta con menos del 20% de este recurso, mientras que en el sudeste del país, el 20% de la población tiene más del 50% del agua. De acuerdo con los escenarios del Estudio de País, el cambio climático podría traducirse, en escasez de agua en el norte y exceso hacia el sur; esto aunado a que actualmente todas las cuencas hidrológicas en el país son vulnerables de acuerdo a los criterios utilizados en el Estudio de País y a las fluctuaciones climáticas, la situación probablemente se vería empeorada en condiciones de cambio climático. El agua es probablemente el recurso más importante para el país, por lo que requiere de atención especial, en particular las cuencas del centro de México: la del Lerma - Chapala-Santiago y la Cuenca del Pánuco (Figura 12) (Mendoza, *et al*, 1995, Magaña y Gay, 2002).

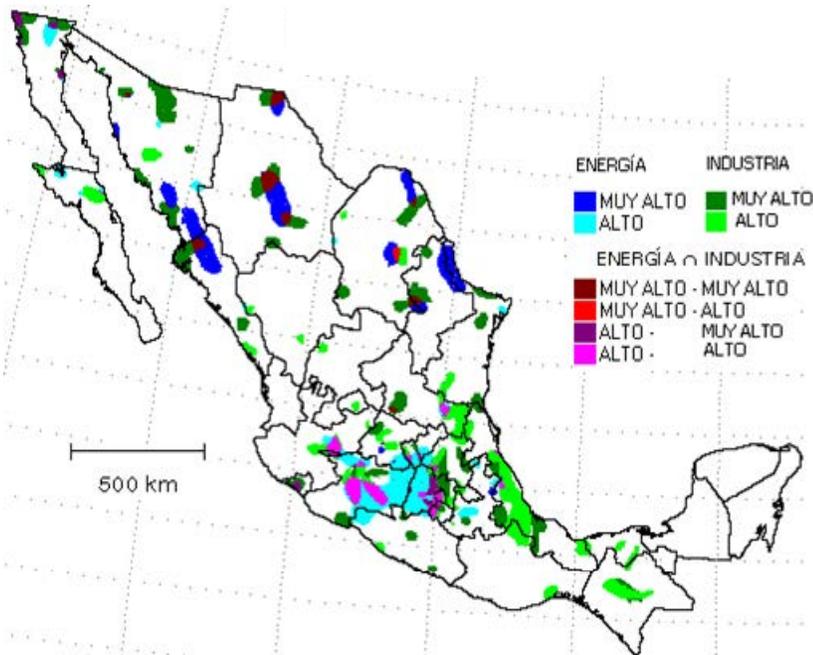


Figura 11. Zonas vulnerabilidad alta y muy alta modelo CCCM sectores energía e industria. Fuente: Sánchez y Martínez, 1995



Figura 12. Regiones hidrológicas con cambio en el número de índices rebasados.

I.5 RESPUESTA INTERNACIONAL AL CAMBIO CLIMATICO Y PARTICIPACIÓN DE MÉXICO

En 1972 se llevó a cabo en Estocolmo, Suecia, la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Humano. Allí los gobiernos reunidos proclamaron: *"Hemos llegado a un momento de la historia en que debemos orientar nuestros actos en todo el mundo atendiendo con mayor cuidado a las consecuencias que puedan tener para el medio..."* La Declaración que contiene esta afirmación fue acompañada de un Plan que contiene 109 recomendaciones para la acción en el plano internacional (PNUMA, 1978).

Posteriormente la Asamblea General de las Naciones Unidas de la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo creó "un programa global para el cambio", que se concretó en la publicación en 1987 de "Nuestro Futuro Común" o "Informe Brundtland", que destaca, entre otras muchas cosas, lo siguiente: *"...En el pasado más reciente nos hemos visto obligados a hacer frente a un notable aumento de la interdependencia económica de las naciones. Y ahora estamos obligados a acostumbrarnos a una creciente interdependencia ecológica entre las naciones. La ecología y la economía se entrelazan cada vez más en los planos local, regional, nacional y mundial hasta formar una red completa de causas y efectos"* (CMMAD, 1987).

En Río de Janeiro, en 1992 tiene lugar la Conferencia de Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (CNUMAD), también conocida como "Cumbre de la Tierra". En esa Conferencia se aprobó una Declaración de Principios y la llamada "Agenda 21". En la Declaración de Río se reafirma la Declaración de Estocolmo y, basándose en ella, se proclaman 27 principios que buscan *"establecer una alianza mundial nueva y equitativa mediante la creación de nuevos niveles de cooperación entre los Estados, los sectores clave de las sociedades y las personas"*, así como *"alcanzar acuerdos internacionales en los que se respeten los intereses de todos y se proteja la integridad del sistema ambiental y del desarrollo mundial"*. La Agenda 21, por su parte, es un detallado plan de acción a nivel mundial por áreas de problemas, que contiene estimaciones de costos y procura asignar responsabilidades. La Cumbre de Río fue una reunión de muchos acuerdos pero de pocos compromisos. Dada la importancia que ha llegado a tener la cooperación internacional, en especial la de naturaleza financiera, es importante recordar el "compromiso" que finalmente se consignó en la Agenda 21: "Los países desarrollados reafirman su compromiso de alcanzar la meta aceptada por las naciones de un 0.7% de su Producto Nacional Bruto para la ayuda oficial al desarrollo y están de acuerdo en que aquellos países que aún no han alcanzado esa meta aumenten sus programas de ayuda para alcanzarla lo antes posible y asegurar una rápida y efectiva ejecución de esta agenda.

Algunos países acordaron alcanzar dicha meta hacia el año 2000. Se ha decidido que la comisión de desarrollo sostenible revise y vigile periódicamente los progresos hechos para alcanzar esa meta. Este proceso de revisión deberá combinar sistemáticamente la vigilancia de la ejecución de la agenda 21 con la revisión de los recursos financieros disponibles (SEMARNAP, 2000).

En el curso de estos últimos treinta años se creó el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y, de acuerdo con las estadísticas de este mismo organismo, se celebraron más de doscientos importantes acuerdos internacionales mundiales y regionales en materias tales como océanos y mares regionales, diversidad biológica, capa de ozono, sobrecalentamiento de la Tierra, desertificación, humedales de importancia internacional, medio ambiente laboral, movimientos transfronterizos de residuos peligrosos, especies amenazadas de la flora y la fauna silvestres y muchas otras, lo que contrasta con el escaso número de acuerdos internacionales ambientales en vigor antes de la década de los años setenta (UNEP, 1996). De esta manera se terminó por configurar una agenda internacional altamente diversificada y compleja, donde se integran los asuntos de las llamadas agendas "gris" y "verde", la primera centrada en los aspectos de contaminación que habían acaparado la atención mundial y la segunda, en cambio, asociada con los temas de conservación de los recursos naturales renovables (SEMARNAP, 2000).

I.5.1 Algunos acuerdos mundiales vinculados al calentamiento global²

➤ *Convención de Lucha contra la Desertificación*

La Convención de Lucha contra la Desertificación, que entró en vigor en enero de 1996, es probablemente uno de los acuerdos ambientales multilaterales menos atendidos por la comunidad internacional. Aunque la Convención pone particular énfasis en la situación del continente africano, el gobierno de México considera que el problema de la desertificación es de carácter global: la erosión y la degradación de los suelos es una de las principales amenazas que limitan los procesos productivos y socioeconómicos del medio rural mundial. Nuestro país ha propuesto acelerar las negociaciones sobre el mecanismo global, específicamente en sus aspectos jurídicos vinculantes, buscando un instrumento que asigne recursos financieros mediante un fondo especial. Asimismo, a nivel regional ha apoyado el plan de acción para América Latina y el Caribe, cuyo objetivo es detener el avance de la desertificación y, en la medida de lo posible, recuperar terrenos degradados para su uso productivo. El 23 de abril de 1999 se firmó el Acuerdo para el establecimiento, con sede en México, de una unidad de coordinación regional para América Latina y el Caribe.

² SEMARNAP, 2000)

➤ *Convención de Viena sobre la Capa de Ozono y Protocolo de Montreal sobre Sustancias Agotadoras de la Capa de Ozono*

El Protocolo de Montreal (1987) se adoptó en el marco del Convención de Viena (1985). Establece medidas concretas para reducir en periodos establecidos la producción y consumo de las sustancias que agotan la capa de ozono de la estratosfera. El Protocolo, entre otras muchas cosas, estableció un Fondo Multilateral como mecanismo para aportar apoyo financiero y técnico, incluyendo la transferencia de tecnología y la introducción de incentivos financieros de naturaleza compensatoria, para atraer con éxito a los países en desarrollo que se encontraban dudosos respecto a la conveniencia de incorporarse al régimen del Protocolo. Este mecanismo, operado por un comité ejecutivo que trabaja coordinadamente con el Banco Mundial, el PNUMA y el PNUD, está bajo la autoridad de las Partes.

México fue el primer país que ratificó este Protocolo, el 31 de marzo de 1988, y desde entonces ha realizado acciones para cumplir las disposiciones de este instrumento, adoptando medidas preventivas para controlar las emisiones mundiales de las sustancias que agotan la capa de ozono. En 1995, en ocasión de la IV Reunión de las Partes, nuestro país se comprometió a eliminar prácticamente el consumo de sustancias agotadoras del ozono en el año 2000. Se contempló una disminución de 90% a la fecha señalada, dejando un margen de 10% para fines esenciales, como el uso médico (esterilización de material quirúrgico, inhaladores, etcétera).

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

El cambio climático se perfila como el problema ambiental dominante en el siglo XXI. La Convención, que entró en vigor el 21 de marzo de 1994, tiene como objetivo final la estabilización de las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera a un nivel que impida interferencias antropogénicas peligrosas en el sistema climático. La meta es lograr dichas reducciones entre el año 2008 y el 2012, período que se ha denominado como “primer período de compromiso”.

Debido a que los países desarrollados y los países en desarrollo tienen diferentes niveles de responsabilidad con respecto a las emisiones históricas de GEI, la Convención distingue entre ambos grupos de países y los clasifica en dos grandes grupos. En el lenguaje de la Convención, los países desarrollados son conocidos como “Anexo 1” y los países en desarrollo como “No Anexo 1”.

La Convención establece compromisos de reducción de emisiones únicamente para los países Anexo 1. Los niveles asignados de reducción de GEI varían de país a país, pero en general, la comisión establece que los países desarrollados disminuyan sus emisiones en 5% con respecto a los

niveles de 1990. Los países en desarrollo como México no tienen compromisos de reducción de emisiones. Sus compromisos ante la Convención son el desarrollo de inventarios de GEI y la publicación de Comunicaciones Nacionales (INE-SEMARNAT, 2006).

➤ *Protocolo de Kioto*

El Protocolo de Kioto fue adoptado durante la Conferencia de las Partes de la Convención celebrada en la ciudad de Kioto, Japón, en diciembre de 1997. En él se establecen compromisos cuantitativos de reducción de emisiones para los países desarrollados para el período 2008-2012, los cuales se enuncian en su artículo 3°. En el artículo 10 se listan los compromisos de todas las Partes de la Convención, incluyendo los de países en desarrollo como México. Este protocolo entró en vigor el 16 de enero de 2005, 90 días después de la ratificación por parte de Rusia. Con la firma de Rusia se recabaron las ratificaciones de 141 países de la Convención (el mínimo era de 55), incluyendo a países Anexo I cuyas emisiones representan más de 55% de las emisiones totales de dióxido de carbono para 1990 de dicho grupo.

Para cumplir con los compromisos establecidos para los países Anexo I, el Protocolo de Kioto establece 3 mecanismos, denominados mecanismos flexibles:

- Implementación conjunta
- Mecanismo de Desarrollo Limpio
- Comercio de emisiones

Estos tres mecanismos incluyen (artículos 6, 12 y 17) diseñados para incrementar la costo-efectividad de la mitigación del cambio climático, al crear opciones para que las Partes Anexo I puedan reducir sus emisiones, o aumentar sus sumideros de carbono de una manera más económica. Aunque el costo de limitar emisiones o expandir la captura varía mucho entre las regiones, el efecto en la atmósfera es el mismo, sin importar donde se lleven a cabo dichas acciones (INE-SEMARNAT, 2006).

I.5.2. Acciones de México a acuerdos internacionales

Como ya hemos mencionado México genera menos del 2% de las emisiones per cápita de gases invernadero. Sin embargo, se sitúa en el lugar número 13 en lo que respecta a la cantidad de emisiones de dióxido de carbono a escala mundial. Ha sido participante particularmente activo en los procesos relacionados a las preocupaciones y acciones mundiales sobre el Cambio Climático y eso se

refleja en las dos comunicaciones nacionales, las cuales han sido presentadas en dos momentos distintos de un proceso que ocurre en la arena de la diplomacia internacional.

La Primera Comunicación Nacional de México se presentó ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) 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.

A su vez, la Segunda Comunicación Nacional de México sobre el Cambio Climático se presentó a la CMNUCC 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 presenta la actualización de dicho inventario al 2002, se calcularon de nuevo las cifras para los años 1990, 1992, 1994, 1996, 1998 y 2000. La categoría de USCUSS fue actualizada al periodo 1993-2002. Para la realización del INEGEI, de los estudios de mitigación y adaptación al cambio climático y de los materiales educativos y de divulgación del tema, se contó con financiamiento del Fondo para el Medio Ambiente Mundial (GEF, por sus siglas en inglés), a través del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (US EPA, por sus siglas en inglés) y del gobierno de México (INE-SEMARNAT, 2006).

Para dar cumplimiento a la política en materia de cambio climático, la Subsecretaría de Planeación y Política Ambiental de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) cuenta con la Dirección General Adjunta para Proyectos de Cambio Climático, encargada de promover y facilitar el desarrollo de proyectos del Mecanismo para un Desarrollo Limpio (MDL) en el país. Por su parte, la Unidad Coordinadora de Asuntos Internacionales de esta Secretaría, tiene entre sus atribuciones, la promoción y organización de la participación de la Secretaría y de sus órganos desconcentrados, en reuniones o foros de carácter internacional, en coordinación con la Secretaría de Relaciones Exteriores (SRE).

Un paso muy importante para la integración de la participación de diferentes secretarías en la toma de decisiones sobre el tema, fue el establecimiento de la Comisión Intersecretarial de Cambio Climático (CICC). En el Diario Oficial de la Federación del 25 de abril de 2005, aparece el acuerdo por el que se crea con carácter permanente, con el objeto de coordinar, en el ámbito de sus respectivas competencias, las acciones de las dependencias y entidades de la Administración Pública Federal,

relativas a la formulación e instrumentación de las políticas nacionales para la prevención y mitigación de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), la adaptación a los efectos del cambio climático y, en general, para promover el desarrollo de programas y estrategias de acción climática relativos al cumplimiento de los compromisos suscritos por México en la CMNUCC y los demás instrumentos derivados de la misma. Dicho acuerdo también tiene por objeto identificar oportunidades, facilitar, promover, difundir, evaluar y, en su caso, aprobar proyectos de reducción de emisiones y captura de GEI en México, en términos del Protocolo de Kioto, así como de otros instrumentos tendientes al mismo objetivo. Los integrantes de la Comisión son los titulares de las Secretarías de Relaciones Exteriores; Desarrollo Social; Medio Ambiente y Recursos Naturales; Energía; Economía; Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación; y Comunicaciones y Transportes. La Secretaría de Hacienda y Crédito Público participa como invitada.

Asimismo, de suma importancia es destacar que la Secretaría de Energía (SENER) creó en febrero de 2005, mediante la firma de un Convenio de Colaboración, el Comité de Cambio Climático del Sector Energía, el cual integra la visión del mismo en su conjunto y es el mecanismo de coordinación para el seguimiento, análisis y definición de políticas y actividades relacionadas con Cambio Climático y el MDL en el Sector Energía. También es el mecanismo de coordinación con la SEMARNAT.

El Comité es presidido por la Subsecretaría de Planeación Energética y Desarrollo Tecnológico de la SENER y en él participan representantes de la Comisión Federal de Electricidad (CFE), Petróleos Mexicanos (PEMEX), Luz y Fuerza del Centro (LyFC), la Comisión Reguladora de Energía (CRE), la Comisión Nacional para el Ahorro de Energía (CONAE), el Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE), y el Instituto Mexicano del Petróleo (IMP). En el rubro de investigación, el Instituto Nacional de Ecología/SEMARNAT cuenta con la Coordinación del Programa de Cambio Climático, su misión es realizar y coordinar estudios sobre cambio climático en México, con el fin de asegurar el cumplimiento de compromisos establecidos en el Plan Nacional de Desarrollo 2001-2006, en los Programas Sectoriales e Institucionales y con los adquiridos ante la CMNUCC, como Parte No Anexo I de la Convención (INE-SEMARNAT, 2006).

Como hemos visto en este capítulo las causas, magnitudes, efectos y consecuencias del calentamiento global tienen aún una gran incertidumbre, en particular, al tratarse de proyectar este proceso en el futuro. Los puntos en donde existe esta gran incertidumbre son múltiples pero pueden destacarse los efectos de la retroalimentación de las nubes, los océanos o los continentes, el impacto en el alza en el nivel del mar y las formas de interacción entre los diversos productos gaseosos de la

civilización en la forma de gases de efecto invernadero. El clima global depende de una combinación de factores que interactúan de forma sutil y compleja y no alcanzamos todavía a comprenderlo del todo. Es posible que el calentamiento observado durante este siglo sea resultado de variaciones naturales y antropógenos (variabilidad externa), aunque el incremento ha sido mucho más rápido que el atestiguado por el planeta durante los últimos cien siglos.

México ha participado activamente en los foros internacionales que se han abierto para el tratamiento de los asuntos ambientales, así como en la elaboración y aplicación de los acuerdos internacionales sobre la materia. La intervención de México en los asuntos ambientales se ha ido haciendo más compleja, en la medida en que la agenda internacional también se ha ido elaborando a mayor detalle, especialmente después de la Cumbre de la Tierra de 1992. Por lo que las actividades para mitigar los cambios en el régimen climático global, la conservación de la biodiversidad, promover la utilización sustentable de sus componentes; reducir el avance de la desertificación o degradación de los suelos y, más recientemente, regular el movimiento transfronterizo de productos como los organismos vivos genéticamente modificados y las sustancias peligrosas por su toxicidad son puntos y objetivos importantes a desarrollar en nuestro país en materia ambiental.

CAPITULO II. CAPTURA DE CARBONO ANTE EL CALENTAMIENTO GLOBAL

En este tercer capítulo se analiza al dióxido de carbono (CO₂) como uno de los principales Gases de Efecto de Invernadero, sus principales fuentes y sumideros, así como las opciones de mitigación. De igual forma se analizan los Mecanismos de Desarrollo Limpio y las alternativas de Mercado de captura de carbono que se tienen.

La contaminación del aire puede percibirse con facilidad, especialmente en los grandes conglomerados urbanos. Sin embargo, más allá de la percepción de que el aire se ve sucio, es necesario evaluar de manera cuantitativa su calidad, midiendo los niveles en los que se presentan espacial y temporalmente los contaminantes nocivos para la salud. El análisis de tendencias de la calidad del aire a lo largo de los años permite inferir si existe un problema de deterioro creciente o una mejoría paulatina para cada contaminante. .

Los cambios en el clima de la Tierra, por mínimos que sean, han sido siempre muy significativos para las sociedades humanas. Cuando en el año 535 DC una erupción volcánica provocó que el clima se hiciera ligeramente más fresco y seco, se sucedieron migraciones, hambre, plagas y cambios en la agricultura, posiblemente incluso el colapso clásico de la civilización maya en el continente americano. Quinientos años después, al haberse vuelto el clima más templado, los vikingos pudieron establecer colonias en Groenlandia. Y cuando el clima se volvió de nuevo más frío, feroces tormentas barrieron con cantidad de poblados y aldeas en las proximidades del Mar del Norte (Lohmann, 2000).

El mantener el nivel de dióxido de carbono dentro de límites razonables implica un intrincado juego de controles y balances en la atmósfera, los océanos, los seres vivos y la corteza y el manto terrestres. Los volcanes emiten CO₂ a la atmósfera, mientras que la meteorización de las rocas silíceas (en la que intervienen la acción del agua y la actividad de las plantas) lo retira. Los organismos vivos extraen CO₂ de la atmósfera y guardan el carbono en sus cuerpos o caparazones. Parte del mismo es rápidamente devuelto a la atmósfera como resultado de la descomposición y el fuego. Los carbonatos que se van acumulando en los fondos marinos como resultado de la meteorización, la escorrentía y otros procesos, son eventualmente empujados bajo las placas continentales en los bordes oceánicos, y encuentran su camino de regreso a la atmósfera millones de años después a través de la actividad volcánica. Otra cantidad de carbono se encuentra enterrado en las profundidades terrestres bajo la forma de carbón y petróleo. En conjunto, la masa de carbono acumulada en las rocas como resultado de la actividad de los organismos vivos es 100,000 veces mayor a aquella presente en la atmósfera. Por otro

lado, la masa de carbono localizada en los propios organismos vivos es tan sólo cuatro veces mayor a la que se encuentra en la atmósfera (Lohmann, 2000).

En el siglo XXI, se intensificarán los efectos ya registrados en el siglo XX, afectando profundamente a los ecosistemas naturales y a los servicios de los cuales depende la sociedad. Durante al menos los 420,000 años anteriores al siglo XX, la concentración atmosférica de CO₂ varió sólo entre ~80 ppmv (partes por millón en volumen) (en las glaciaciones, cuando la temperatura era de 8 a 9 °C mas fría que la de hoy) y ~180 ppmv (en los períodos interglaciares, en los que la temperatura era similar a los valores actuales). Este margen de variación del CO₂ atmosférico es muy reducido, dado que su concentración está determinada por un ciclo biogeoquímico muy dinámico. Ello indica que el ciclo mundial del carbono está controlado por eficaces procesos de reacción biológicos que mantenían un balance equilibrado entre la asimilación neta de CO₂ por la biosfera y su respiración total (el equilibrio entre la emisión neta y el sumidero de la biosfera se mantuvo próximo a cero durante al menos los últimos 420,000 años) (Apps, 2003). En la figura 13 se observa la correlación entre temperatura y CO₂ y los ciclos glaciales se aprecian claramente. Lo que aún es una incógnita es si el aumento de temperatura precede al aumento de CO₂ o viceversa. Se desconoce además el efecto adicional y combinado de cambios en la órbita terrestre y circulación oceánica. Sin embargo, el consenso apunta a que CO₂ y otros gases invernadero representan al menos la mitad de la causa del aumento de temperatura.

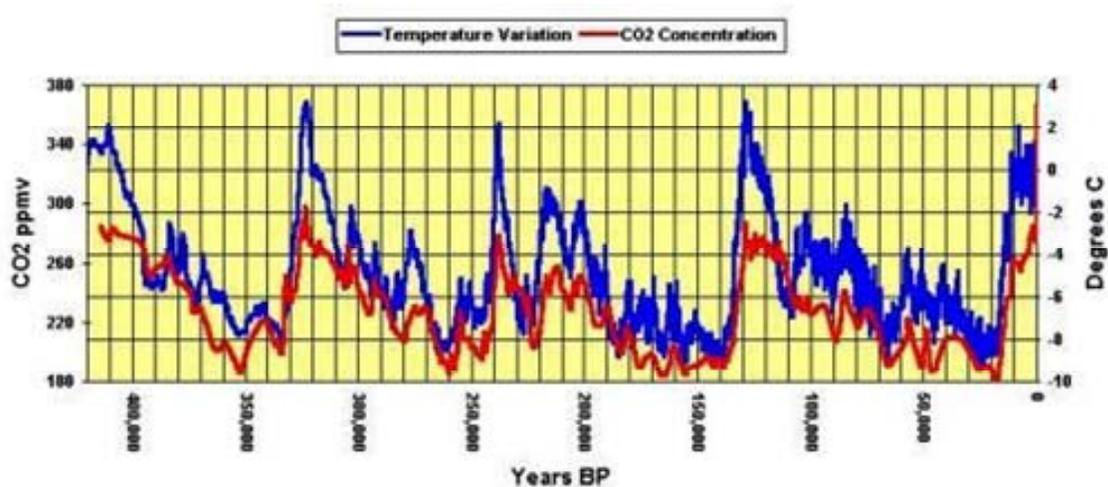


Figura 13. Temperatura y concentración de CO₂ en la atmósfera en los últimos 400,000 años (núcleos de hielo Vostok). Fuente: conversa.bellini, 2006

II.1 EL CICLO DEL CARBONO

El carbono es ampliamente distribuido en la naturaleza, aunque sólo constituye un 0.025% de la corteza terrestre, donde existe principalmente en forma de carbonatos. El dióxido de carbono es un componente importante de la atmósfera y la principal fuente de carbono que se incorpora a la materia viva. Es el principal gas de efecto invernadero antropógeno que afecta al balance radiativo de la Tierra. Es el gas que se toma como marco de referencia para medir otros gases de efecto invernadero, y por lo tanto su Potencial de Calentamiento de la Tierra (PCT) es 1. Este índice describe las características radiativas de los gases de efecto invernadero mezclados de forma homogénea, y que representa el efecto combinado de los distintos períodos de permanencia de estos gases en la atmósfera y su relativa eficacia en cuanto a absorber radiación infrarroja saliente (IPCC, 2001).

Todos los organismos vivos están constituidos por compuestos de carbono que obtienen de procesos metabólicos realizados durante su crecimiento y desarrollo, y que son liberados cuando éstos mueren. Aproximadamente el 50% del peso seco de cualquier organismo lo constituye este elemento, por lo que es uno de los más importantes de la vida (Smith *et al.*, 1993b).

El ciclo del carbono consiste en el movimiento de un lugar de depósito a otro. Este ciclo es cerrado, ya que la cantidad de carbono existente en el mundo y atmósfera es fija. Las plantas superiores adquieren el dióxido de carbono atmosférico durante la fotosíntesis (producción primaria). Cierta cantidad de este CO₂ regresa a la atmósfera, pero la cantidad que se fija y se convierte en carbohidratos durante la fotosíntesis se conoce como producción primaria bruta (PPB) (Figura 14). La mitad de la PPB se incorpora en los tejidos vegetales, y la otra mitad regresa a la atmósfera como CO₂ debido a la respiración autotrófica (respiración de los tejidos vegetales, Ra). El crecimiento anual de las plantas es el resultado de la diferencia entre el carbono fijado y el respirado y se conoce como producción primaria neta (PPN) y en el nivel global se ha estimado en 60 Pg¹C/año (Jaramillo, 2004)

Eventualmente, en el transcurso de pocos a muchos años, casi todo el C fijado por vía de la PPN regresa a la atmósfera por medio de dos procesos: la respiración heterótrofa (Rh), que incluye a los descomponedores de la materia orgánica (bacterias y hongos que se alimentan de tejidos muertos y de exudados) y a los herbívoros; y por la combustión en los fuegos naturales o antropogénicos. Gran parte de la biomasa muerta se incorpora al detritus y a la materia orgánica del suelo, donde es “respirada” a diferentes velocidades dependiendo de sus características químicas. Se producen así almacenes de C en el suelo que regresan el C a la atmósfera en diferentes periodos. La diferencia entre la fijación de C por

¹ Pg = pentagrama = 1 gigatonelada

la PPN y las pérdidas por la Rh, en ausencia de otras perturbaciones que producen pérdidas de carbono (p. ej. el fuego o la cosecha), se conoce como la producción neta del ecosistema (PNE). Y cuando todas las pérdidas de C se contabilizan, tales como el fuego, la cosecha o la remoción, el transporte por los ríos a los océanos y la erosión, lo que queda es el C que acumula efectivamente la biosfera a nivel global, y que se conoce como la producción neta del bioma (PNB). Ésta se ha calculado en 0.2 ± 0.7 PgC/año para la década de los ochenta, y en 1.4 ± 0.7 PgC/año para la de los noventa (Jaramillo, 2004).

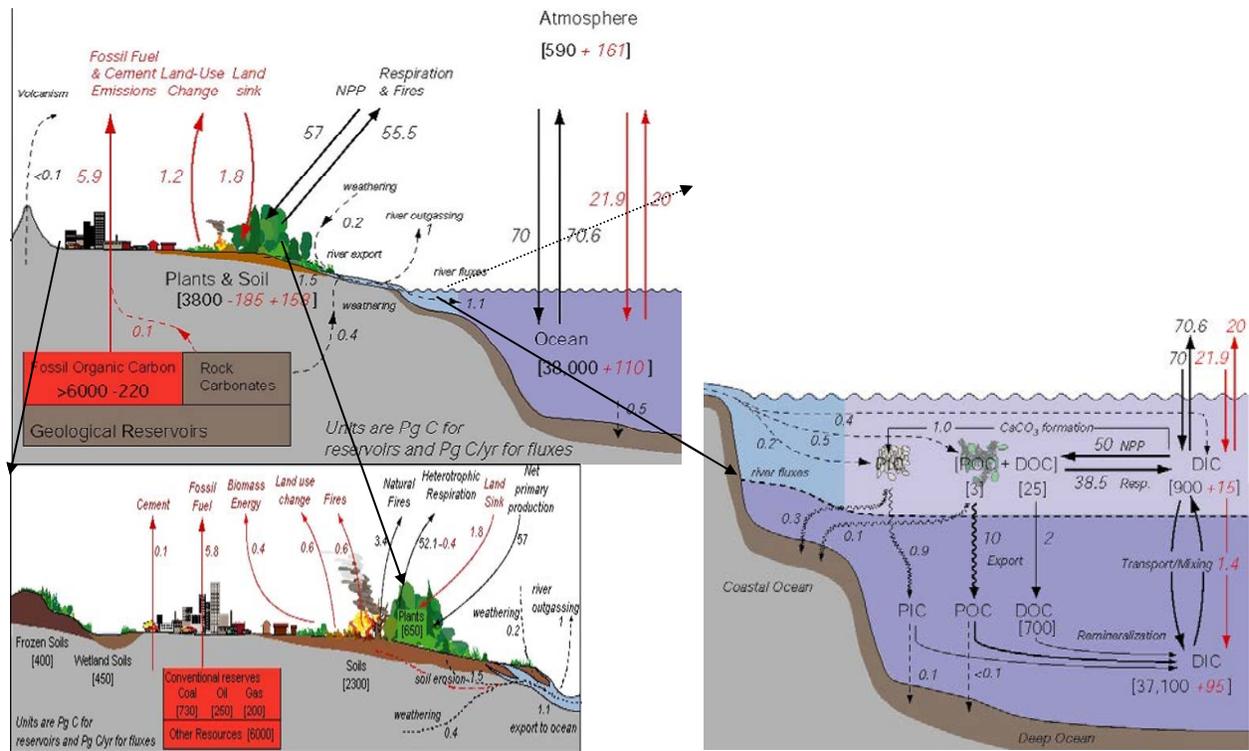


Figura 14. Ciclo Global del Carbono en la actualidad.

Fuente: www.pmel.noaa.gov

II.1.1 Procesos que regulan la concentración de CO₂ en la atmósfera

Se considera que existen dos mecanismos generales que operan de manera conjunta pero en escalas diferentes de tiempo. A largo plazo (cientos de millones de años), el ciclo geoquímico de Carbonato-Silicato opera como regulador de dicha concentración. En este ciclo, el CO₂ atmosférico se disuelve en el agua de lluvia y forma ácido carbónico que reacciona con los minerales expuestos sobre la superficie terrestre, generando lo que se conoce como intemperismo de la roca. Los ríos acarrean los productos disueltos al océano. En el océano se forma el carbonato de calcio; éste se deposita en los sedimentos marinos que por el proceso de subducción entran a la corteza baja de la Tierra. En este proceso se reincorporan elementos a los minerales primarios de las rocas y el carbono regresa a la atmósfera como CO₂ por las emisiones volcánicas e hidrotermales (Figura 14). Este ciclo geoquímico ha

ayudado a mantener la concentración del CO₂ atmosférico por debajo de 1% durante los últimos 100 millones de años; sin embargo, los flujos de carbono anuales son relativamente pequeños. (Kasting, 1998).

La aparición de la vida sobrepuso al ciclo geoquímico un ciclo biogeoquímico de corto plazo. En éste dominan dos grandes transferencias anuales de C: el flujo de CO₂ de la atmósfera a las plantas como resultado de la fotosíntesis, y el regreso de CO₂ a la atmósfera como resultado de la descomposición de la materia orgánica. En los periodos de la historia de la Tierra en los que la producción de materia orgánica ha excedido a su descomposición, el C orgánico se ha acumulado en los sedimentos geológicos. La magnitud de estos flujos es tal que ha sido posible detectarlos mediante las variaciones estacionales de las concentraciones atmosféricas de CO₂, particularmente en el Hemisferio Norte debido a su mayor masa continental en comparación con el Hemisferio Sur. Otro componente natural del ciclo del carbono lo constituye el metano (CH₄). Este gas es, después del dióxido de carbono, el compuesto de carbono más abundante en la atmósfera (Schlesinger, 1997). Se produce por la fermentación de la materia orgánica en condiciones anaeróbicas, tal como ocurre, por ejemplo, en los humedales, los sedimentos lacustres y en el aparato digestivo de los rumiantes y las termitas. La concentración de metano muestra variaciones latitudinales mayores en el Hemisferio Norte que en el Sur y fuertes oscilaciones estacionales. Tiene una capacidad de absorción de radiación infrarroja 20 veces mayor por molécula que el bióxido de carbono (Silver y DeFries, 1990), por lo que el aumento de la concentración de este gas en la troposfera tiene también el potencial para contribuir de manera significativa a un cambio climático global (Jaramillo, 2004).

II. 2 PRINCIPALES FUENTES Y SUMIDEROS DEL CO₂

Se ha revelado que sobre cada hectárea de la superficie terrestre, la atmósfera contiene unas 6 toneladas de carbono, en forma de dióxido. Sin embargo, cada año una hectárea plantada de vegetales como la caña de azúcar, por ejemplo, extraerá de la atmósfera hasta 20 toneladas de carbono que incorpora a su organismo. Si no pudiera renovarse la cantidad total, las plantas verdes terminarían por gastar la totalidad del carbono atmosférico en pocos siglos (Villem, 1990).

La deforestación mundial anual se calcula en 17 millones de hectáreas, lo que significa una liberación anual de cerca de 1.8 GtC; lo que representa el 20% de las emisiones antropogénicas totales (IPCC, 1992 y 1995; Montoya *et al.*, 1995). Por lo que se ha considerado que el uso de combustibles fósiles y el cambio en el uso del suelo son las dos principales fuentes netas de CO₂ a la atmósfera relacionadas con el cambio climático global a nivel mundial (Mintzer, 1992).

En la actualidad, aproximadamente las tres cuartas partes de las perturbaciones directas causadas por el hombre al ciclo global de carbono se deben a la quema de combustible fósil, cuyas emisiones superan los 6 Gt C/año (gigatonnes (1Gt=10⁹t) de carbono por año) y siguen aumentando. Para establecer una perspectiva, dicha emisión equivale a la incineración total de la mitad de los árboles del Canadá, sin residuos, carbón vegetal u hollín. Cada año. No obstante, desde mediados del siglo XIX, la adición acumulativa de CO₂ antropogénico a la atmósfera por el cambio en el uso del suelo ha sido más elevada (~156 Gt C) comparada con la ocasionada por el uso de combustible fósil (~280 Gt C/año) y continua siendo una importante emisión antropogénica (~2,2 Gt C/año) Fig. 18 (Houghton, 2003).

De los 7,6 ± 0,8 Gt C/año de CO₂ que se añaden a la atmósfera a consecuencia de las actividades humanas en el período comprendido entre 1980 y 1995, sólo el 3,2 ± 1,0 Gt C/año permanece en la misma, mientras que el resto lo han absorbido casi por igual los ecosistemas oceánicos y terrestres (Houghton, 2000). De este modo, la biosfera de la Tierra elimina de manera activa parte del nuevo carbono que las actividades humanas han añadido. Los ecosistemas terrestres en particular, asimilaron (absorbieron y retuvieron) el 2,3 ± 0,9 Gt C/ año, incluso después representan la pérdida del 2,0 - 2,2 Gt C/ año de la deforestación Fig. 15 (Houghton, 2003).

El CO₂ es eliminado naturalmente de la atmósfera por una compleja red de sumideros que incluyen los océanos y los suelos. La mayoría de los estudios sugieren que alrededor de un tercio del CO₂ que se libera actualmente es absorbido por los océanos. Además, las plantas eliminan (almacenan) el carbono de la atmósfera a través de la fotosíntesis. El proceso involucra la extracción del CO₂ del aire, la separación del átomo de carbono de los átomos de oxígeno, regresar el oxígeno a la atmósfera y utilizar el carbono para producir biomasa en la forma de raíces, tallos y follaje. Un aspecto de este proceso es denominado “secuestro de carbono”, indicando que es un proceso natural que elimina el carbono de la atmósfera y lo almacena en el suelo (FENERCA, 2001).

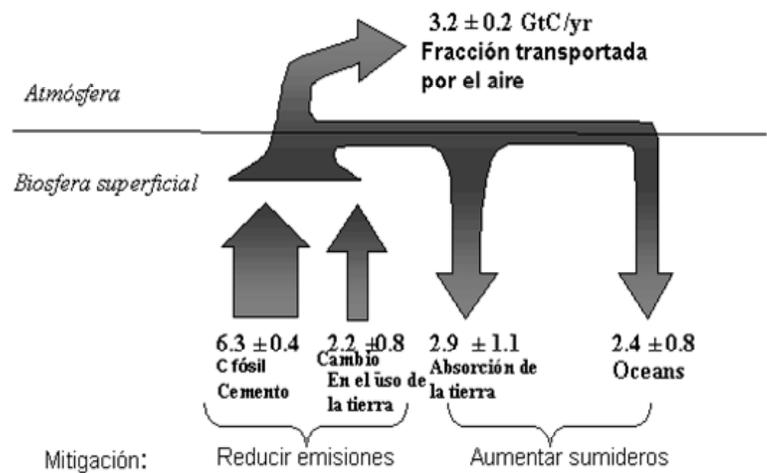


Figura 15. Perturbaciones antropogénicas (GtC/año) al ciclo mundial del carbono. La Absorción de la Tierra se infiere como una cantidad residual de otros flujos y el aumento observado en la atmósfera. (Houghton, 2000)

La superficie forestal estimada en el Planeta es de 4.1×10^9 ha, donde las áreas naturales protegidas abarcan el 2.3%, menos del 10% de las áreas que se encuentran bajo manejo. Aproximadamente el 37% de carbono se encuentra en latitudes bajas (entre los 30 y 0° N y S, conocidas también como regiones tropicales o tórridas), 14% en las medias (entre los 35 y 65° N y S, conocidas como región templada) y 49% en las altas (entre los 60 y 90° N y S, conocidas también como regiones polares). Es por esto que Dixon *et al.* (1994) afirman que la proporción de carbono capturado por la vegetación y suelo difiere en cuanto a su ubicación geográfica respecto de su latitud. Dos terceras partes del carbono en ecosistemas forestales se encuentra contenido en el suelo. Los biomas boreales circumpolares tienen una cobertura de 2×10^9 ha en el hemisferio norte, y contienen 800 GtC en reservas de carbono contenido en la biomasa, detritus, suelo y turba. (Apps *et al.*, 1993). Los bosques tropicales almacenan en la vegetación y el suelo 159 GtC y 216 GtC, respectivamente, para un total de 375 GtC (Brown *et al.*, 1993) (Tabla 2).

Tabla 2. Los sumideros y los flujos de carbono en los ecosistemas terrestres (Según Houghton, 1996)

Ecosistema	1980			Cambio 1850-1980		
	Área (Mha)	Vegetación (Pg C)	Suelo (Pg C)	Área (Mha)	Vegetación (Pg C)	Suelo (Pg C)
Bosque Tropical	2,167	288	203	-508	-59	-42
Bosque Templado	1,492	127	155	-91	-26	-17
Bosque Boreal	1,167	96	237	-4	-6	-3
Bosque Total	4,827	510	595	-603	-91	-62
Ecosistemas no forestales	8,900	73	845	+603	+1	+31
Total ecosistemas terrestres	13,727	583	1,440	0	-90	-31

1 pentagramo (Pg) equivale a 1 gigatonelada
Mha=Mega hectárea

Actualmente la deforestación y la degradación forestal son factores importantes para el cambio climático global, puesto que producen emisiones netas de dióxido de carbono. Además generan grandes problemas locales y regionales, como el incremento de la erosión y el abatimiento de los mantos acuíferos, entre otros. Sin embargo, se ha estimado que, combinando estrategias de conservación forestal con proyectos de reforestación en todo el mundo, los bosques podrían resultar en un sumidero neto de carbono durante los próximos cien años, permitiendo reducir de 20 a 50% las emisiones netas de CO_2 a la atmósfera (IPCC, 1995). Por lo anterior, es necesario conservar los bosques y manejarlos adecuadamente, y comenzar a reforestar las zonas altamente degradadas, permitiendo una regeneración de la cobertura vegetal acorde al tipo de suelo, fisonomía del terreno y cercanía a cuerpos de agua, e integrando este proceso en todo momento con las actividades agrícolas y pecuarias de una región determinada.

Como se ha señalado los grandes sumideros de carbono del planeta son los bosques (principalmente la biomasa de los árboles y la materia orgánica del suelo) y los océanos (formación y mantenimiento de plancton, así como carbono precipitado al fondo del mar), los cuales, constituyen un problema más complicado en la evaluación de los depósitos y flujos del carbono. El océano profundo contiene aproximadamente 34,000 unidades de carbono. La superficie oceánica, en lo que se denomina océano caliente, contribuye con alrededor de 600 unidades de carbono mientras que el océano frío daría casi 300 unidades de carbono. Los océanos son por tanto la mayor fuente como el mayor sumidero de carbono en la atmósfera. El carbono inorgánico en la forma de CO₂ disuelto y los carbonatos aportan alrededor de 37,000 Gt. El carbono orgánico disuelto contribuye con otros 1,000 Gt adicionales. El carbono en partículas provenientes de organismos vivos o de plantas y animales muertos o en fragmentos agregan otras 30 unidades. Se debe recordar que existen grandes incertidumbres en estas estimaciones porque hay grandes variaciones en los océanos del planeta (Takle, 1996).

Los océanos regulan el carbono en tres formas diferentes: por procesos físicos, por procesos químicos, y por procesos biológicos. Los procesos físicos incluyen el movimiento del carbono de un lugar a otro por circulación oceánica. Los meteorólogos y los oceanógrafos llaman a este proceso advección. Las diferencias en la temperatura y en el contenido de sales (salinidad), además de las fuerzas de transporte del viento y de la rotación de la Tierra, dan un transporte neto de carbono dentro y entre las mayores cuencas oceánicas. Otro proceso físico es la mezcla por difusión vertical en el agua de un nivel a otro. El CO₂ disuelto en la superficie del agua está en equilibrio con el CO₂ atmosférico debido al mezclado eficiente en la superficie oceánica (Takle, 1996).

II.3 OPCIÓN DE MITIGACIÓN DE CARBONO

El almacenamiento de carbono cumple un papel importante en el ciclo climático global, manteniendo el volumen adecuado de GEI en la atmósfera. Aproximadamente el 50% del carbono almacenado se ha perdido de los suelos entre los últimos 50 y 100 años, debido a las actividades humanas que han generado cada vez más presión sobre los ecosistemas. La pérdida del carbono almacenado es el resultado principal de la sobreexplotación de las tierras agrícolas y la deforestación de los terrenos forestales y por lo tanto, ha afectado el ciclo climatológico global (FENERCA, 2001).

Masera (1995a) define las opciones de mitigación de carbono como: cualquier acción que da como resultado una reducción del incremento neto en las emisiones de este gas de un área determinada y/o por la sustitución de combustibles fósiles. Asimismo, identifica dos opciones básicas de mitigación de carbono en el sector forestal: a) conservación, que consiste en evitar las emisiones de carbono

preservando las áreas naturales protegidas, fomentando el manejo sostenible de bosques naturales y el uso renovable de la leña, y la reducción de incendios; y (b) reforestación, dedicada a recuperar áreas degradadas mediante acciones como la protección de cuencas, la reforestación urbana, la restauración para fines de subsistencia (leña), el desarrollo de plantaciones energéticas (producción de leña y generación de electricidad) y de los sistemas agroforestales. Acciones como éstas tienen por objetivo incrementar la fijación y almacenaje de carbono.

La primera meta podría ser alcanzada evitando la degradación y aclareo de las áreas forestales. Esto usualmente se lleva a cabo mediante el cuidado propio de las áreas naturales protegidas y del manejo sustentable de los bosques nativos. Las emisiones de carbono también pueden ser evitadas por la quema de biomasa cosechada de forma sustentable, en lugar del uso de combustibles fósiles para energía (por ejemplo, utilizando plantaciones energéticas para hacer funcionar plantas de energía) y la sustitución de productos industriales en proceso, que requieren del uso de combustibles fósiles, por productos hechos de madera (por ejemplo, sustituyendo cemento por madera, como señalan Schlamadinger y Marland, 1996).

El segundo aprovechamiento incluye el incremento de la densidad de carbono en un área dada y/o los sumideros y almacenes de carbono. Aquí la opción básica es la reforestación de áreas (por ejemplo instrumentar en plantaciones industriales y/o bioenergéticas en zonas degradadas). También se pueden considerar opciones para incrementar la densidad de carbono en los bosques existentes (por ejemplo, aplicando sistemas de manejo integral, como el tiempo de rotación, aclareo, baja intensidad de corta selectiva, etcétera). Una vez identificadas las opciones de mitigación, es necesario estimar la captura unitaria y el almacenamiento neto de carbono para cada una de las opciones. Estos parámetros serán la base para estimar las implicaciones del almacenamiento de carbono de futuros escenarios alternativos en el sector forestal (Ordoñez, 1999)

En un análisis preliminar para México, Bellón *et al.* (1993) asumieron que manteniendo las áreas naturales protegidas, realizando un manejo de los bosques de manera sustentable en las áreas comerciales, reforestando las áreas forestales degradadas se podía llegar a niveles de captura de carbono en dichas zonas del orden de 3,500 a 5,400 millones de toneladas en un periodo de 100 años, lo que equivale a una captura anual, bajo este escenario hipotético, de 35-54 millones de toneladas de carbono. La estimación de se basa en los supuestos y estimaciones que se muestran en la Tabla 3.

Además de estas estimaciones (realizadas con el programa CO₂FIX, Nabuurs y Mohre, 1993), otros autores han identificado el potencial de captura de carbono para México, considerando tanto el potencial de absorción como el depósito (inventario) de carbono que el país posee. En la Tabla 4 se

resumen algunas de estas estimaciones. En este cuadro cabe resaltar la estimación de Adger *et al.* (1995), en la cual se proyecta la pérdida de carbono debida a cambios de uso del suelo, ya sea convirtiendo el área forestal a un cultivo agrícola o bien transformándola en agostadero.

Tabla 3. Potencial de absorción de carbono en el sector forestal en un periodo de 100 años

Opción	Superficie potencial (millones ha)	Absorción de carbono (t C /ha)	Absorción total acumulada (millones t C)
Conservación			
Áreas naturales protegidas	6	40-130	500-600
Manejo forestal comercial	18.7	40-130	1,500-2,300
Protección forestal	0.06/año(neto)	2.4-8.4 millones de t C / año	Na
Estufas eficientes de leña	Na	1-3 millones de t C / año	50-300
Reforestación			
Reforestación áreas degradadas	16.6	50-150	1,300-1,800
Plantaciones comerciales	1.6-3.0	50-120	200-400
Total	42.7-44.3		3,500-5,400
Fuente: Bellón et al. 1993.			

Tabla 4. Estimaciones de captura de carbono según diversos autores

Tipo forestal	Condición	Captura (t C/ha)	Referencia
Bosque de coníferas Bosque Caducifolio Selva alta Selva baja y mediana	Pérdida de carbono por cambio de uso del suelo	Pastizal Agricultura 168.4 167.1 34.0 31.5 164.8 163.5 92.5 91.25	Adger et al. 1995
Áreas Naturales Protegidas Bosque comercial Áreas reforestadas Plantaciones comerciales	Estimación para un periodo de 100 años	40-130 40-130 50-150 50-120	Masera 1995
Cerco vivo Plantación forestal Sistema taungya Acahual enriquecido	Bosque de pino-encino en partes altas (Chiapas). Periodo de 150 años	39 121 124 124	Gus Hellier 2000
Cerco vivo Plantación con árbol de sombra Sistema taungya Acahual enriquecido	Bosque de transición; zona cafetalera (Chiapas). Periodo de 150 años	92 116 277 277	Gus Hellier 2000
Fuente: Resumen obtenido de las referencias citadas.			

Las estimaciones de potencial de fijación de carbono por hectárea por año y por entidad se muestran en la Tabla 5. En todos los casos las estimaciones se realizaron considerando los incrementos maderables reportados en el Inventario Nacional Forestal de 1994 (SARH, 1994). Obsérvese la cercanía de las estimaciones con las de otros autores (Torres y Guevara, 2003).

Tabla 5. Estimaciones del Potencial de Captura de Carbono por entidad (Kt de CO₂ por año)

Entidad	Bosques	Selvas	Plantaciones	Total
Aguascalientes	17.89	0.00	0.00	17.89
Baja California	56.80	0.00	0.00	56.80
Baja California Sur	6.72	69.52	0.00	76.23
Campeche	0.00	1336.60	1.84	1338.44
Coahuila	89.91	0.39	0.00	90.30
Colima	20.85	93.57	0.00	114.42
Chiapas	927.86	1652.30	8.18	2588.35
Chihuahua	1791.17	74.27	12.10	1877.55
Distrito Federal	73.40	0.14	2.77	76.31
Durango	1873.30	73.27	0.00	1946.57
Guanajuato	48.20	2.42	1.06	51.69
Guerrero	1415.07	572.24	0.00	1987.30
Hidalgo	111.39	76.68	0.00	188.07
Jalisco	1235.32	346.95	2.47	1584.74
México	355.48	24.64	7.50	387.62
Michoacán	1643.28	382.37	17.64	2043.29
Morelos	24.07	18.27	0.00	42.33
Nayarit	447.03	216.91	26.71	690.65
Nuevo León	83.11	0.00	0.00	83.1
Oaxaca	1098.85	1009.64	19.18	2127.67
Puebla	199.46	77.14	0.00	277
Querétaro	58.85	14.37	0.00	73.22
Quintana Roo	0.00	1858.72	0.00	1858.72
San Luís Potosí	164.62	199.99	0.00	364.61
Sinaloa	301.07	595.18	0.00	896.25
Sonora	382.02	433.18	23.21	838.4
Tabasco	0.00	158.73	44.39	203.12
Tamaulipas	106.10	376.43	0.00	482.53
Tlaxcala	33.74	0.00	0.00	33.74
Veracruz	409.64	624.96	15.48	1050.08
Yucatán	0.00	776.12	0.00	776.12
Zacatecas	263.18	27.78	0.00	290.95
Total nacional	13238.37	11092.78	182.54	24513.69

Fuente: Estimaciones derivadas del Inventario Nacional Forestal 1994.

El potencial de captura de carbono esta ligado al potencial de formación de biomasa. De ahí que las regiones donde resultan factibles altos rendimientos de biomasa sean las regiones de mayor potencial de captura de carbono. Para México estas áreas están localizadas a lo largo de las llanuras costeras y en el sur y sureste del país, donde se registran los mayores rendimientos de biomasa. En este contexto, los

mejores lugares para ubicar proyectos de captura de carbono son aquellos que tienen el mayor potencial para el desarrollo de plantaciones o sistema de cultivo de alto rendimiento en producción de biomasa (Torres y Guevara, 2003).

Masera *et al.* (1995) sugieren que los sistemas agroforestales son los sistemas más prometedores para los proyectos de captura de carbono, dado que proporcionan alternativas de producción que combinan la producción de satisfactores con la de servicios ambientales. Otros autores como De Jong *et al.* (1995) señalan que las prácticas de cultivo como cercas vivas, cortinas rompevientos, sombras de árboles, y enriquecimiento de acahuales, entre otros, pueden también representar extraordinarias alternativas de proyectos de captura de carbono.

Trexler y Haugen (1995) estimaron que en México existen alrededor de 4.6 millones de hectáreas con potencial para diferentes alternativas de cultivo forestal o agroforestal con alta producción de carbono, cuyo potencial de captura varía entre $33.3-113.4 \times 10^6$ Mg C. En su opinión, adicionalmente existe alrededor de un millón de hectáreas potenciales para el desarrollo de plantaciones forestales, con un potencial de captura entre $30.7-85.5 \times 10^6$ Mg C. Aún más, dichos autores estiman que existen en el país alrededor de 30 millones de hectáreas de áreas arboladas con regeneración natural con posibilidades de capturar entre $1,038$ y $3,090 \times 10^6$ Mg C.

Otra alternativa para conservar bancos de carbono (carbono depositado en el suelo y vegetación) y evitar que regrese a la atmósfera es impidiendo la deforestación. Se estiman que alrededor de 6.1 millones de hectáreas de bosques y selvas (con un potencial de captura de $348.3-714.9 \times 10^6$ Mg C) se podrían salvar antes del año

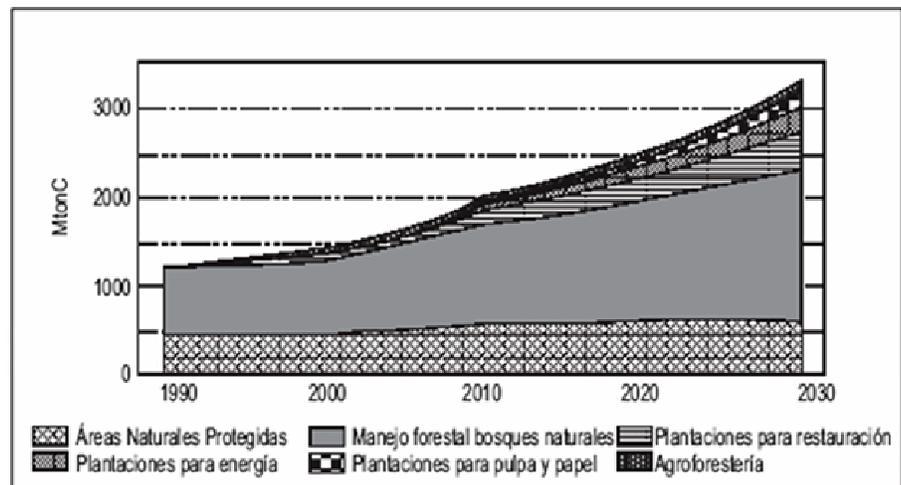


Figura 16. Potencial de captura de carbono en México según opciones de manejo forestal (escenario de política de apoyo según Masera y Ordoñez, 1997)

2040 si se toman medidas adecuadas de manejo silvícola que diversifique los bienes y servicios que se obtienen del bosque (Trexler y Haugen, 1995).

Masera (1995a) estimó que para el año 2030 nuestro país tendría un potencial de captura total de carbono dentro de un rango de 2.34 a 3.02 GtC para una superficie de 26.4 Mha (Megahectáreas) en un

escenario de política de apoyo, y de 4.18 a 5.12 GtC para una superficie de 39 Mha en un escenario de potencial tecnológico. Esto significa una captura anual de 67 a 116 MtC año⁻¹, que representa la mayor parte o el total de las emisiones actuales del sector energético e industrial en nuestro país (Figura 16).

II. 4 LA CAPTURA UNITARIA DE CARBONO

La estimación precisa de la dinámica de los flujos netos de carbono entre los bosques y la atmósfera es decir, el balance emisión-captura (Figura 17) es uno de los problemas abiertos más importantes en la discusión sobre cambio climático (IPCC, 1995; Lashof y Ahuja, 1990; Mintzer, 1992; Dixon *et al.*, 1994). Esto es resultado, por un lado, del complejo ciclo biogeoquímico del carbono en los ecosistemas forestales (García y Ordóñez, 1999). Los procesos de captura-emisión son parte de un sistema con cuatro tipos generales de reservorios de carbono (vegetación, aérea y subterránea, materia en descomposición, suelos, productos forestales), con tiempos de residencia y flujos asociados muy diferentes. Estos reservorios se encuentran estrechamente interrelacionados, lo que hace necesario un enfoque sistémico conocido como:

método del sistema total del carbono, (Apps *et al.*, 1993; Dixon *et al.*, 1994) y el uso de modelos de simulación. La problemática es particularmente crítica para los bosques tropicales, en donde no se tiene una buena información de los contenidos de carbono en vegetación y suelo, ni se han podido determinar parámetros para los modelos predictivos existentes (e.g., modelos como: GORKAM, CASFOR, LUCS) (Ordóñez y Masera, 2001).

Un segundo problema fundamental para la determinación precisa de las emisiones netas de los

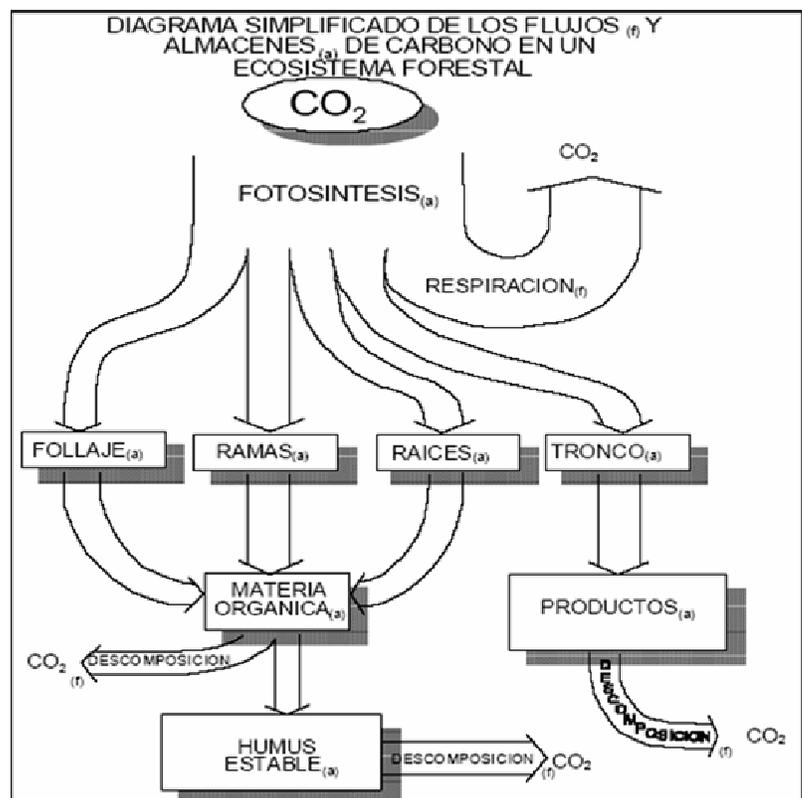


Figura 17. Flujos y almacenes de carbono en un ecosistema forestal (Ordóñez, 1998 y 1999).

ecosistemas forestales, es la gran incertidumbre en los procesos de cambio de uso del suelo, específicamente, cuánto y cómo se pierden los bosques a través del tiempo (IPCC, 1995; Masera *et al.*,

1997). Esto es complicado pues depende de la interacción de factores de tipo biofísico socioeconómico, político y cultural. Entre los factores físicos y biológicos relacionados con los procesos de cambio de cobertura y uso del suelo destacan las características del relieve del terreno, las propiedades físicas y químicas del suelo, la disponibilidad de fuentes de agua, el estado y la estructura de la vegetación. Además de los procesos naturales de cambio dinámico de los propios ecosistemas como la regeneración y sucesión, hay numerosos factores antropogénicos que promueven la transformación de las áreas naturales, impactándolas a distintos niveles y con diferentes intensidades, desencadenando cambios en las relaciones entre la diversidad biológica y el funcionamiento del ecosistema (Naveh y Liebman, 1984; Sauders *et al.*, 1991).

El entender los aspectos finos de la dinámica que ocurren en el paisaje y que responden a diversos procesos como la degradación o regeneración de la vegetación es lo más importantes desde el punto de vista de la dinámica emisiones-captura de carbono (Ordóñez y Masera, 2001).

Para definir la captura unitaria de carbono se estima el carbono contenido en diferentes almacenes (que pueden ser emitidos o ahorrados, según Masera, 1995b; Ordóñez, 1998 y 1999). Estos almacenes incluyen: C_v = carbono contenido en la vegetación; C_d = carbono contenido en la materia orgánica en descomposición; C_s = carbono contenido en los suelos; C_p = carbono contenido en productos forestales (e.g., muebles, papel) y C_f = carbono ahorrado por no utilizar combustibles fósiles (por ej., proyectos bioenergéticos).

II.5 MECANISMOS DE DESARROLLO LIMPIO (MDL)

Dentro del Protocolo de Kyoto se incluye tres mecanismos (artículos 6, 12 y 17) que permiten incrementar la costo-efectividad de la mitigación del cambio climático:

- **Implementación conjunta:** Las Partes Anexo I podrán transferir o adquirir las Unidades de Reducción de Emisiones (ERUs) resultantes de proyectos que reduzcan las emisiones de GEIs para cumplir sus metas de reducción.
- **Mecanismo para un Desarrollo Limpio (MDL):** Las Partes No Anexo I (países en vías de desarrollo) pueden implementar proyectos que fomenten el desarrollo sustentable de la región donde se ubiquen dichos proyectos y de los cuales se generen Certificados de Reducción de Emisiones (CERs) o Unidades de Remoción (RMUs), que se obtienen de las actividades de captura de carbono, y transferirlos o venderlos a Partes Anexo I (países desarrollados) para cumplir sus metas de reducción. La estructura del MDL incluye un Consejo Ejecutivo que supervisa los proyectos de MDL, el cual opera bajo la autoridad de la Conferencia de las Partes (Figura 18).

➤ **Comercio de emisiones:** Son actividades de comercio de “derechos de emisión” (Allowances o AAUs) entre partes del Anexo I y que se otorgan de acuerdo con sus meta de reducción de emisiones.

Algunos de los proyectos que pueden convertirse en MDL son, por ejemplo, los siguientes:

- Energías renovables, tales como combustión de masa, energía solar, eólica, por mareas o por olas.
- Proyectos de energía, tales como cambio de combustible de carbón a gas natural y combustión de gas metano para generar energía.
- Proyectos de eficiencia energética.
- Proyectos de transporte como implementación de tecnologías más limpias en motores.
- Proyectos forestales.
- Otros proyectos, como secuestro geológico por la obtención de petróleo y recuperación de metano del suelo.

La Junta Ejecutiva (JE) del MDL de las Naciones Unidas regula los procedimientos por medio de los cuales un proyecto puede participar en el MDL y generar Reducciones Certificadas de Emisiones (RCE). Estas reducciones, o bonos de carbono encuentran compradores en un mercado que se basa en los mecanismos de flexibilidad planteados en el Protocolo de Kyoto y a las disposiciones legales que para lograr

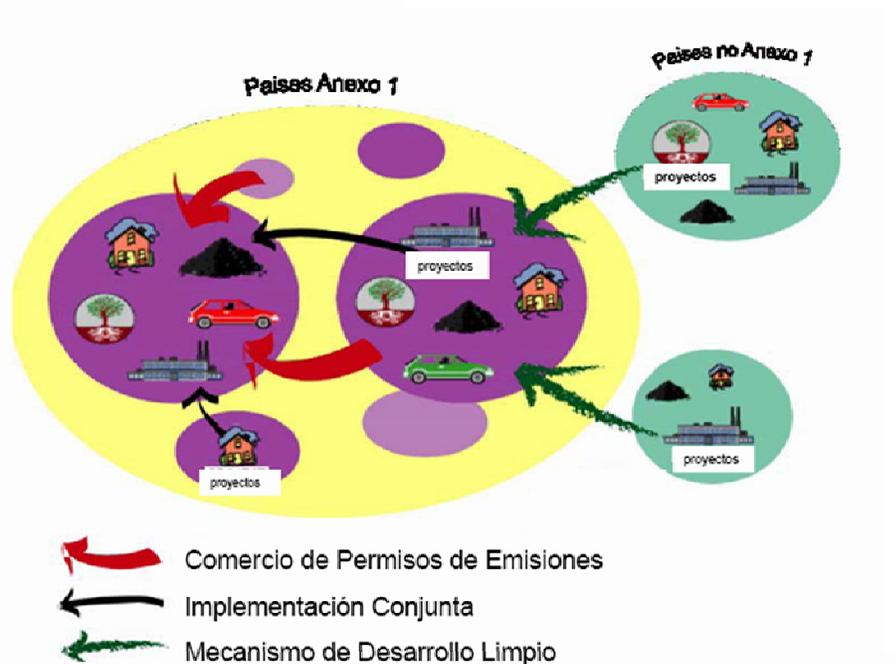


Figura 18. Mecanismos de Desarrollo Limpio (MDL) Fuente: CICC, 2006

reducciones han implementado los países Anexo I que ratificaron el Protocolo de Kyoto. En virtud de estos ingresos provenientes de la venta de CERs o del interés de adquirir los derechos de estas reducciones se hace atractiva o posible la realización del proyecto (CICC, 2006).

II. 5.1. Implementación de un proyecto MDL

La implementación de estos proyectos es altamente especializada y requiere de un conocimiento profundo y puntual de cada una de las reglas emitidas tanto a nivel internacional como local, para que el proyecto llegue a buen fin. A continuación se exponen las distintas fases que conlleva la implementación de esta clase de proyectos, así como algunos de sus rasgos más importantes:

- Concepción del proyecto: La parte inicial de esta fase, consiste en la definición de la “idea” de proyecto con el fin de evaluar si ésta cumple con todos los requisitos que deben observar los proyectos MDL, mismos que han sido establecidos por la Junta Ejecutiva, y asimismo, para determinar la manera en que será financiado.

En caso de que en base a lo anterior se decida desarrollar el proyecto, la primera actividad a realizar será completar el llamado Documento de Diseño de Proyecto, o “Project Design Document” (PDD) el cual incluirá una descripción del proyecto, la metodología propuesta para la medición y monitoreo de la reducción de la emisión de GEI, así como una descripción de la manera en que se cumplirá con otros requisito de los MDL.

- Obtención de la Carta de Aprobación: Después de contar con su PDD, el promovente del proyecto debe requerir de la Comisión Intersecretarial de Cambio Climático² una Carta de Aprobación del proyecto. Esta autoridad evalúa el proyecto en base a sus criterios específicos³, y en su caso, emite una carta de aprobación.

- Validación del Proyecto: Una Entidad Operacional Designada (DOE por sus siglas en inglés) que será contratada por el promovente del proyecto, deberá evaluar a detalle el PDD con el objeto de verificar que contiene todos los requisitos para ser registrado como proyecto MDL⁴.

- Registro: Una vez validado un proyecto MDL por una DOE, ésta solicitará al Consejo que el proyecto sea “Registrado”, a menos que una parte involucrada en el proyecto, o bien, tres miembros de la Junta Ejecutiva MDL soliciten una revisión sobre el cumplimiento de los requisitos de validación.

- Monitoreo: Una vez Registrado el proyecto, y que este se encuentre en operación, será necesario recolectar toda la información necesaria para la estimación de la reducción de GEI lograda.

- Verificación y Certificación: Periódicamente, la DOE deberá revisar el monitoreo de reducción de GEI y certificar la reducción de emisión de estos gases. En esta revisión se deberá certificar que el proyecto cumple con lo que fue descrito en el PDD y asimismo con todas las reglas sobre proyectos MDL establecidas por el Consejo. Con estos fines, la DOE deberá llenar un “reporte de verificación”

² Su acuerdo de creación fue publicado en el Diario Oficial de la Federación el 25 de abril del 2005.

³ Estos criterios ya fueron publicados en el Diario Oficial de la Federación el 27 de octubre de 2005.

⁴ Dichos requisitos son entre otros la adecuada evaluación de los impactos ambientales del proyecto, disposiciones sobre el monitoreo, verificación y reporte de la reducción de emisiones de GEI, la metodología sobre la “línea base y monitoreo son adecuados, etc.

para la evaluación del proyecto, y asimismo un “reporte de certificación” donde asiente el monto exacto de reducción de GEI.

- Emisión de Certificados de Reducción de Emisiones (CERs): A los 15 días de presentado el Reporte de Certificación, el Consejo emitirá los CERs a través de un registro electrónico creado para tal fin. Un CERs equivale a una tonelada métrica de CO₂ que ha sido reducido por la implementación del proyecto. Los CERs pueden ser comercializados con el fin de que los adquirentes cumplan con sus metas particulares de reducción de GEI⁵ (ICCMEX, 2007).

II. 5.2 Fuentes de financiamiento que existen para realizar un proyecto MDL en México?

Las fuentes de financiamiento para estos proyectos son diversas, entre los cuales podemos señalar bancos (World Bank, o el Bank of Japan, que tiene programas específicos para proyectos MDL) o inversionistas de distintos países (México tiene firmados acuerdos de cooperación con distintos países tales como Francia, Holanda, España, Canadá, etc. para el fomento, implementación, e incluso financiamiento de MDLs).

II.6 MERCADOS DE CARBONO

Los tres mecanismos arriba mencionados comúnmente se les denominan “bonos de carbono” y se cuantifican en toneladas de bióxido de carbono equivalente (TCO₂eq). El comercio de bonos de carbono comprende la compra y venta de certificados de reducción de emisiones (CERs), derechos de emisión o montos asignados anualmente (AAUs), o unidades de reducción de emisiones (ERUs). El aspecto fundamental que permite la creación de un sistema global de comercio de bonos de carbono, es que el impacto de las emisiones o reducciones es independiente del lugar donde se presentan, y que existen diferentes costos (en general mas altos en los países Anexo I), dependiendo de condiciones particulares y regionales, para lograr reducciones de emisiones equivalentes. El mercado basado en proyectos es enormemente diverso, con riesgos únicos que generan complejas estructuras de transacciones y contratos confidenciales. La revelación de precios específicos es cada vez menos común y su nivel en este segmento refleja los diversos riesgos asociados con la garantía de entrega del activo pactado, cuando y donde se requiera. Asuntos específicos tales como el riesgo crediticio del comprador y del vendedor tienen importancia con respecto a la entrega y pago futuro (CMM, 2007).

El mercado del carbono se da en todo el mundo aunque no se puede hablar de un único esquema de comercio o de un único sistema de transacciones. Esto hace que el precio de cada bono de carbono

⁵ Al día que se escriben estas líneas, un CER tiene un valor de \$33.32 USDLS (fuente: www.pointcarbon.com). El precio varía de acuerdo a la oferta y demanda.

(equivalente a una tonelada de CO₂ no emitida a la atmósfera) esté sujeto a la oferta y demanda del mercado; así, algunos países presionados por cumplir con sus compromisos de reducción de emisiones según lo establecido en el Protocolo de Kyoto, tienen más interés en comprar bonos a un determinado precio o en comprar una mayor cantidad a lo largo de cierto lapso de tiempo. Por su parte, otros países o empresas que hayan obtenido o sean poseedoras de bonos de carbono, estarán interesados en vender sus bonos al mejor precio posible.

En 2005, el valor total de los mercados globales de carbono superó los 10 mil millones de dólares americanos. Mientras que en el 2006, el valor fluctuó entre 25 y 30 mil millones de dólares americanos. En 2005, se comerciaron 374 millones de toneladas de dióxido de carbono equivalente (TCO_{2eq}), principalmente en Certificados de Reducción de Emisiones (CERs), con un valor total de 2.7 miles de millones de dólares americanos, en un precio promedio superior a los \$7.23 dólares por tonelada evitada. En los primeros tres meses de 2006, el precio promedio reportado por reducción de emisiones estimadas fue de \$11.45 dólares por TCO_{2eq}. Entidades privadas europeas y japonesas dominaron la compra en el mercado, adquiriendo cerca del 90% del total de reducciones de emisiones estimadas que se comercializaron en 2005 y 2006, mientras que China fue el principal vendedor de las mismas (CMM, 2007).

II.6.1 Transacciones de carbono

Las transacciones de carbono pueden agruparse en dos categorías principales:

- Transacciones basadas en permisos o derechos, en las cuales el comprador adquiere derechos de emisiones, tales como las Assigned Amount Units (AAUs) del Protocolo de Kyoto, o las EUAs del EU ETS (Sistema de Intercambio de Emisiones de la Unión Europea).
- Transacciones basadas en proyectos, en las cuales el comprador adquiere créditos de emisión de un proyecto el cual puede demostrar, de manera creíble y verificable, que reduce las emisiones de GEI comparadas con las que se tendrían de no realizarse el proyecto. Los ejemplos más notorios de estas transacciones se encuentran en el marco del Mecanismo para un Desarrollo Limpio (MDL) y de la Implementación Conjunta (IC) bajo el Protocolo de Kyoto, los cuales generan CERs y Unidades de Reducción de Emisiones (ERUs). Otros mecanismos basados en proyectos se incluyen en mercados domésticos de compensaciones como en Nueva Zelanda, o en actividades que pueden generar certificados de abatimiento bajo el Esquema de Abatimiento de Gases de Efecto Invernadero (GGAS) en Nueva Gales del Sur. Algunas transacciones basadas en proyectos se llevan a cabo para cumplir metas voluntarias (por ejemplo, bajo el Chicago Climate Exchange (CCX)), pero la mayoría tienen como

finalidad cumplir con el Protocolo de Kyoto u otros regímenes reguladores (EU ETS y el Plan Voluntario de Acción Keidanren en Japón) (CMM, 2007).

Sin embargo se reconoce que existen problemas de negociación, para el desarrollo de mercados entre los cuales se pueden señalar: i) la dificultad de estimar el valor de mercado de cualquier proyecto debido a que se desconoce la demanda, lo cual depende en gran medida de los compromisos hechos por los diferentes países o por las distintas organizaciones; de aquí que resulta complicado estimar la rentabilidad de los diferentes proyectos; ii) la existencia de costos hundidos (iniciales) para el desarrollo de proyectos, tales como la investigación necesaria, el mismo desarrollo de proyectos y la promoción de los mismos; iii) el producto, a pesar de ser la captura de carbono, es muy variado y depende de las especies, sus formas de manejo, condiciones del suelo, entre otras, lo cual hace complicado crear estándares de producto que puedan ser puestos a la venta; iv) la presencia de costos administrativos en buscar compradores o financiamiento para el inicio de los programas; v) una vez identificado el financiamiento y aprobado el proyecto se requiere de una estructura administrativa específica que permita distribuir eficientemente (oportunamente y con bajos costos de transacción) los fondos entre los productores y que permita monitorear el desempeño de los proyectos para cumplir con los compromisos establecidos. Tal estructura puede tener asociados altos costos de transacción (Rojas 1999).

Dada la dificultad de estimar el valor de cada unidad de carbono por el lado de la demanda, su valor se ha establecido de varias formas, generalmente a través de los costos asociados al desarrollo de los proyectos. En la Tabla 6 se resumen algunas estimaciones del mercado de unidad de carbono fijado de acuerdo con información

recabada de diversos proyectos a nivel nacional e internacional.

Como puede observarse en la Tabla 6, el valor de cada unidad de carbono puede variar dependiendo del tipo de proyecto de captura de

Tabla 6. Valor de cada unidad de carbono fijado de acuerdo con varios autores

Concepto de Valoración	Valor US\$/t C	Tipo de proyecto	Referencia
Costo de oportunidad global	20	Conservación	Adger et al. 1995
Valor del proyecto	1.9-2.89	Conservación	Rojas 1999
	7.6-10.52	Reforestación	
Negociación	08-12	Proyectos varios (agroforestales, reforestación)	Fondo Bio-climático
Proto-Carbon Credits	12	Proyectos varios	Edinburg Center for Carbon Management
Fuente: Torres y Guevara, 2003			

carbono. De esta forma, proyectos en los cuales existen sólo costos de conservación y no se incluyen costos iniciales (como sería el caso de los proyectos de conservación) tienen un valor menor que aquellos en los que los costos iniciales son altos (proyectos de reforestación). En ambos casos

(conservación o reforestación), el valor de cada unidad de carbono está muy ligado al costo de producirla. Dixon *et al.* (1993) evaluaron los costos de operación del establecimiento de proyectos forestales en nueve países, concluyendo que tales costos varían entre US\$1-30/t de C. Por su parte, Montoya *et al.* (1995) estimaron que los costos de los proyectos de captura de carbono para el sur de México varían entre US\$ 3-11/t de C.

De Jong *et al.* (1996) evaluaron la rentabilidad de varias alternativas forestales y agroforestales de producción de carbono en México y encontraron que los sistemas de cercos vivos, sombras de cafetos, plantaciones para el enriquecimiento de acahuales y tangya son alternativas económica y técnicamente eficientes. Sin embargo, Del Río (2000) halló que los costos de oportunidad de los terrenos usados en el proyecto Scolel-Té son muy altos, lo que hace que los proyectos no sean rentables financieramente para los productores. Evidentemente la determinación del valor por el lado de la oferta implica que existirá una enorme diferencia entre países, regiones y tecnologías, las cuales dependen del costo de oportunidad de usos del suelo alternativos, tecnologías para la conservación o fomento de recursos forestales, la abundancia de recursos, la calidad en el producto (i.e. el monitoreo de la cantidad de carbono capturado) y el riesgo de los proyectos. Todo esto da por resultado que existan enormes diferencias entre los proyectos y que para algunas condiciones ecológicas, económicas, sociales y culturales, la alternativa de captura de carbono pueda ser una posibilidad poco eficiente de uso del suelo (Torres y Guevara, 2003).

II.6.2 Proyectos MDL en México

La Comisión Intersecretarial de Cambio Climático funge como autoridad nacional designada para los fines relativos a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático y el Protocolo de Kyoto con su MDL. Para ello cuenta con un grupo de trabajo permanente denominado Comité Mexicano para Proyectos de Reducción de Emisiones y Captura de Gases de Efecto Invernadero (COMEGEI), que esta encargado de promover, difundir y evaluar proyectos así como asesorar al Presidente de la Comisión sobre la expedición de cartas de aprobación de los mismos.

Mientras que el Mecanismo para un Desarrollo Limpio reduce el costo de cumplimiento de compromisos ante el Protocolo para países desarrollados, las economías en desarrollo se benefician del incremento en los flujos de capital de inversión para proyectos de mitigación y los resultados que estos ofrecen para las políticas de desarrollo sustentable.

El COMEGEI tiene identificados planes en diversos sectores como son: minihidroeléctricas, generación de energía eléctrica por viento, gestión de desechos, aprovechamiento de metano en rellenos sanitarios, aprovechamiento o quema de metano en minería y secuestro de carbono en el sector forestal;

En la Tabla 7 se muestra la cartera de proyectos del COMEGEI, al mes de mayo de 2005, que cuentan con carta de no objeción y carta de aprobación, así como la ubicación y las reducciones estimadas de emisiones de cada proyecto

Tabla 7. Proyectos de Mecanismo para un Desarrollo Limpio en México

Proyecto	Con carta de no objeción	Con carta de aprobación	Ubicación	Reducciones estimadas (miles tons CO ₂ eq.)
Proyecto Sombrilla de Abatimiento de GEI's en el Manejo de Residuos Sólidos en México	X		Nuevo León	120
			Baja California	150
			Jalisco	150
			Guanajuato	90
			Coahuila	60
			Sinaloa	30
Proyecto Hidroeléctrico Trojes	X	X	Jalisco	23
Proyecto Hidroeléctrico Benito Juárez	X	X	Oaxaca	41
Proyecto Hidroeléctrico Chilatán	X	X	Jalisco.	52
Proyecto Hidroeléctrico El Gallo	X	X	Guerrero	81
Proyecto AWMS GHG Mitigation Project MX05 -B-01		X	Guanajuato	97
Proyecto "Quimobásicos HFC Recovery and Decomposition Project		X	Nuevo León	3,700
Proyecto "Corredores de Transporte" del GDF (Metrobús)	X		Distrito Federal	450
Proyecto eólico "Bii Nee Stipa – La Ventosa	X		Oaxaca	543
Proyecto de captura de metano en granjas de cerdos "AWMS GHG Mitigation Project MX04-B-01	X		Guanajuato-Querétaro	387
Proyecto de parque eólico "Bii STINÚ"	X		Oaxaca	70

Fuente: Instituto Nacional de Ecología, México 2005.

Como hemos visto a lo largo de este capítulo el dióxido de carbono es el gas más importante en el efecto invernadero y, por lo tanto, uno de los responsables del posible calentamiento global. Sin embargo, se tienen todavía incertidumbres que resultan relevantes sobre las emisiones y captura de este gas, particularmente en los ecosistemas forestales. Por esta razón, se requiere de estudios de caso a nivel regional que permitan obtener datos más precisos sobre los flujos y almacenes de este gas en los bosques y selvas.

Este recurso ayudaría a conservar los bosques de la comunidad y a seguir obteniendo otros beneficios, como conservación de suelo, acumulación de agua, almacenamiento y reciclaje de nutrientes, limpieza del aire, y sobre todo, conservación y mantenimiento de la riqueza y diversidad biológica del lugar.

CAPITULO III. GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN MÉXICO

En este capítulo se examinará el sector energético de una manera general, y en particular el sector eléctrico, para conocer sus alcances y la importancia que estos han tenido en el crecimiento y desarrollo económico del país. Así como también la importancia que tiene la generación de energía eléctrica en el medio ambiente.

III.1 LA INDUSTRIA EN MÉXICO

El crecimiento industrial se ha constituido como el motor fundamental del desarrollo de nuestro país; ya que se considera como el impulsor de la urbanización al haber favorecido el surgimiento de un sector de servicios que ha consolidado a las metrópolis y ciudades medias. De él depende gran parte del crecimiento económico y el bienestar de la población. Desde la década de los años 40, en una economía cerrada y bajo la estrategia de sustitución de importaciones, el despegue industrial en México favoreció la concentración territorial de la planta industrial. Dicho despegue fue sostenido, principalmente, por la siderurgia, los productos metálicos y químicos, los alimentos, bebidas y tabaco, los textiles, ropa y calzado. El periodo de mayor actividad de la industria y, en general, de la economía mexicana, fue en los años 60s, teniendo un crecimiento industrial de un 8.7% anual promedio, mayor al 6.9% alcanzado en los años 40s. La mayor expansión se dio en las ramas de productos metálicos y eléctricos, vehículos y sus accesorios, química, refinación de metales y materiales no metálicos. (Figura 19) (SEMARNAP, 2000).

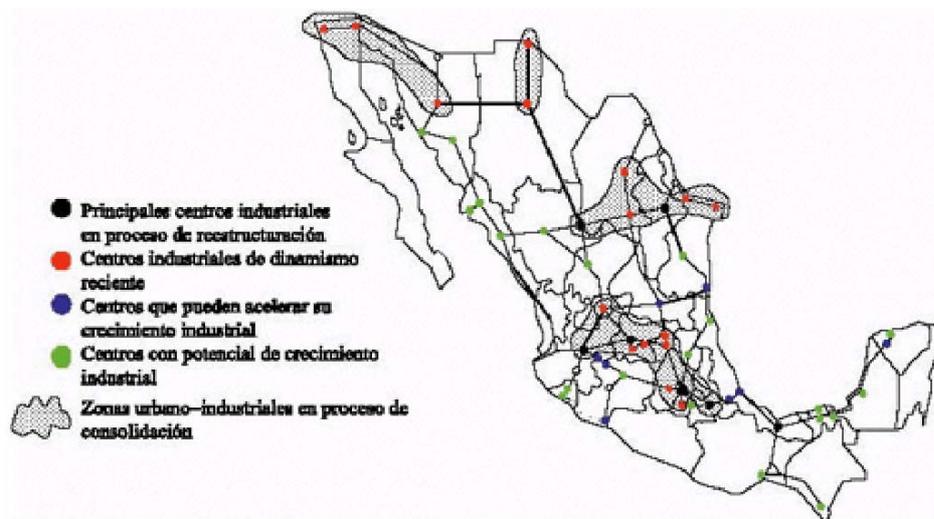


Figura 19. Principales centros industriales de México

III.2 SECTOR ENERGETICO EN MÉXICO

El sector energético juega un papel fundamental en el futuro de México, como en el de cualquier país, el crecimiento de éste depende en gran medida de que tan desarrollado está su sector energético. La razón es sencilla: la disponibilidad de energía es requisito indispensable para la expansión y la competitividad de las actividades productivas. Para México este sector aportó el 3% del Producto Interno Bruto (PIB), el 8% del valor del total de las exportaciones y el 37% de los ingresos fiscales del 2001. Lo que enfatiza que los ingresos federales dependen en gran medida de este sector (SENER¹, 2001). A nivel mundial México es uno de los productores más importantes de petróleo colocándose en el séptimo lugar en el 2002 debajo de Rusia, Arabia Saudita y los Estados Unidos, pero por delante de Canadá, Reino Unido y Venezuela. Por otra parte en lo que respecta a las reservas probadas de petróleo México se colocó en el noveno lugar por arriba de los Estados Unidos, pero debajo de Venezuela, Irak y Arabia Saudita, entre otros. Además México es el noveno productor mundial de gas natural y el sexto en la producción de electricidad (SENER, 2002).

En el año 2005 la producción nacional de energía primaria totalizó 9,819.7 petajoules² (PJ) cifra 5.5% inferior respecto al 2004. El decremento se debió, en términos generales, a la menor producción de petróleo crudo; la cual disminuyó 9.8% de 2004 a 2005. Lo anterior como resultado del menor poder calorífico reportado por Petróleos Mexicanos para la mezcla de crudo, el cual observó una caída de 8.2% en el periodo de referencia y a la menor producción de petróleo crudo en términos de volumen. En cuanto al resto de los hidrocarburos, se observan incrementos en condensados (3.0%) y en gas natural (4.3%). Por su parte, la electricidad primaria aumentó 11.4% en 2005, explicado principalmente por el incremento en la producción de nucleenergía (17.1%), geoenergía (10.3%) e hidroenergía (9.5%). La biomasa creció 3.3% como resultado de la mayor producción de bagazo de caña, la cual aumentó en 12.7%. Lo anterior no obstante la menor producción de leña, que disminuyó 0.2% de 2004 a 2005. Los hidrocarburos se mantuvieron como la principal fuente en la producción de energía primaria. En términos de estructura, disminuyeron su participación de 90.8% en 2004 a 89.4% en el 2005, debido fundamentalmente al decremento en términos energéticos, de la producción de petróleo crudo (Tabla 8) (SENER, 2006).

¹ Secretaria de Energía

² Un pentajoule=1025 joules

Tabla 8. Producción de Energía Primaria (pentajoules)

	2004	%	2005	%	Variación porcentual 2005/2004
TOTAL	10,390.177	100	9,819.714	100	-5.5
Carbón	198.847	1.9	215.998	2.2	8.6
Hidrocarburos	9,429.715	90.8	8,782.752	89.4	-6.9
Petróleo Crudo	7,482.559	71.5	6,702.647	68.3	-9.8
Condensados	178.345	1.7	183.670	1.9	3.0
Gas natural	1,818.811	17.5	1,896.435	19.3	4.3
Electricidad	421.809	4.1	469.969	4.8	11.4
Núcleo energía	100.634	1.0	117.880	1.2	17.1
Hidroenergía	254.391	2.4	278.434	2.8	9.5
Geoenergía	66.722	0.6	73.605	0.7	10.3
Energía eólica	0.061	n.s	0.050	n.s	-17.2
Biomasa	339.806	3.3	350.996	3.6	3.3
Bagazo de caña	92.063	0.9	103.780	1.1	12.7
Leña	247.743	2.4	247.216	2.5	-0.2

n.s = no significativo

La producción de electricidad primaria en 2005 aumento su participación total en 0.7 puntos porcentuales respecto a lo observado en 2004, ubicándose en 4.8%, dado el incremento de la nucleenergía en 17.1% y la geoenergía en 10.3% y la hidroenergía en 9.5%. Por el contrario, la energía eólica decreció en 17.2%. Durante 2005, la hidroenergía participó con 59.2% de la producción de electricidad primaria y registró 278.4.1 PJ; la nucleenergía con 25.1% con 117.9 PJ; la geoenergía 13.3% con 73.6 PJ, y la energía eólica 0.1 PJ siendo esta no significativa. Mientras que la biomasa se ubicó en 351.0 PJ, cifra 3.3% mayor a la de 2004. Esta fuente incremento su participación en 3.3% en 2004 a 3.6% en 2005 respecto al total de la producción de energía primaria, lo que se explica principalmente por el crecimiento observado en el bagazo de caña (12.7%). Finalmente, el incremento de 8.6% en la producción de carbón mineral generó que en el 2005 incrementará su participación a 2.2% del total de la producción de energía primaria. El incremento de 8.6% en la producción de carbón mineral permitió que en 2005 incrementara su participación a 2.2% del total de la producción de energía primaria. Lo anterior se explica por el incremento en la producción de carbón térmico, que pasó de 8,147 miles de toneladas en 2004 a 8,962.9 en 2005, y de carbón siderúrgico, de 1,735.4 miles de toneladas en 2004 a 1,791.6 en 2005. (SENER, 2006).

La oferta interna bruta de energía primaria tiene dos destinos principales: la energía que se canaliza a los centros de transformación (centros en los que se procesa la energía primaria para obtener productos secundarios que poseen las características específicas para ser consumidos) y la utilizada directamente por los consumidores finales como energéticos y materia prima (consumo no energético). Una pequeña parte de la energía primaria es consumida por el propio sector energético y otra se puede perder en los procesos de transporte, distribución y almacenamiento. La energía primaria destinada directamente al consumo final total para el año 2005 totalizó 354.8 PJ, con un

crecimiento del 3.4% respecto a 2004 (3.4 PJ). Del total de la energía primaria destinada al consumo final en 2005, 69.7% corresponden a la leña, 28.9% al bagazo de caña y 1.4% al carbón. Durante el año 2005 el monto de esta demanda para consumo final fue equivalente al 5.3% de la oferta interna bruta de la energía primaria, respecto de un 5.2% del año anterior. (SENER, 2006).

Los centros de transformación absorbieron 82.7% de la energía primaria disponible, al procesar 5,542.7 PJ, cifra inferior en 1.6% a la registrada en 2004 por 5,633.7 PJ. En el 2004 sólo se procesaba en los centros de transformación el 84.7% de la energía disponible.

El monto de la energía primaria utilizada por el sector energético fue en el año 2005 de 117.9 PJ, que representó el 1.8% de la oferta interna bruta. En el 2004 esta fue equivalente a 90.5 PJ con una participación de 1.4% respecto a la oferta interna bruta. En pérdidas por transporte, distribución y almacenamiento se registraron 27.9 PJ (0.4% del total de la oferta) con relación a un valor de 29.4 PJ en 2004 (0.4% del total de la oferta interna bruta). Finalmente, por diferencia estadística se registró en el 2005 un valor de 10.7 PJ (0.2%) Es importante señalar que estas diferencias estadísticas se generan en el 2005 principalmente por el petróleo crudo y carbón mineral. Incorporan diferencias de medición, cuentas o partidas no registradas en el balance, entre otras (SENER, 2006).

El consumo nacional de energía es equivalente a la suma de la oferta interna bruta de la energía primaria y de la energía secundaria. El consumo nacional de energía registró en el año 2005 la cifra de 7,365.0 PJ, inferior en 0.2% a los 7,376.8 PJ de 2004 (Tabla 9). El sector de energía empleó 2,322.4 PJ, 31.5% de la oferta interna bruta, y el resto de los sectores económicos consumieron 5,042.7 PJ, equivalentes al 68.4% del consumo nacional de energía (SENER, 2006).

Tabla 9 Consumo Nacional de Energía (pentajoules)

	2004	%	2005	%	Variación porcentual 2005/2004
Consumo nacional	7,376.801	100.0	7,365.013	100.0	-0.2
Consumo del sector energético	2,291.606	31.1	2,322.359	31.5	1.3
Autoconsumo ¹	643.278	8.7	641.277	8.7	-0.3
Consumo por transformación	1,493.277	20.2	1,518.519	20.6	1.7
Perdidas ²	155.051	2.1	162.564	2.2	4.8
Recirculaciones	568.087	7.7	651.317	8.8	14.7
Diferencia estadística	94.129	1.3	2.171	n.s	-97.7
Consumo final total	4,422.978	60.0	4,389.166	59.6	-0.8
Consumo no energético	283.851	3.8	306.573	4.2	8.0
Consumo energético	4,139.128	56.1	4,082.593	55.4	-1.4

¹ Se refiere al consumo propio del sector

Fuente: Sistema de Información Energética (SIE)

² Incluye las pérdidas por transporte, distribución y almacenamiento

El consumo final no energético aumentó 8.0% respecto a 2004, al pasar de 283.9 a 306.6 PJ. De este total, 62.1% fue empleado por Pemex Petroquímica (SENER, 2006).

Los requerimientos internos de energía, por unidad de producto interno bruto, fueron en el año 2005 de 4,193.7 kJ por cada peso producido a precios de 1993, cifra inferior en 3.0% a la registrada en el 2004 en que ascendió a 4,324.5 kJ por cada peso producido. El consumo nacional de energía por habitante en el 2005 fue de 71.5 millones de kJ, cifra 1.2% inferior a los 72.4 millones de kJ de 2004. Para esta variable, la intensidad energética por habitante más elevada en el período de 1990 a la fecha fue la observada en el año 2004. El consumo final total de energía fue de 4,389.2 PJ en el 2005, cifra que representa un decremento de 0.8% respecto de 4,422.9 PJ de 2004. El consumo final energético pasó de 4,139.1 PJ en 2004 a 4,082.6 PJ en 2005, decreciendo a una tasa de 1% (SENER, 2002).

III.3 SECTOR ELÉCTRICO

En México, en los últimos 25 años (de 1970 a 1995), la población prácticamente se duplicó al aumentar de 45 a 85 millones de habitantes. En ese mismo período, la capacidad instalada de energía eléctrica aumentó en más de 500%, al pasar de 4,600 a 27,000 MW, el número de usuarios se quintuplicó al pasar de 3.9 a 19 millones, mientras que la producción de electricidad se sextuplicó al incrementarse de 17.4 a 116 millones de KWh. Los beneficios del manejo de demanda se comprueba al observar el ritmo de crecimiento del consumo de este recurso. En la década de los 80s fue del 6.13%, con un incremento de la población de 2.5%. Durante la administración del presidente Salinas se amplió el servicio a 21 millones de mexicanos, y se incrementó la capacidad de generación en un 35%. Mientras que la tasa de crecimiento de 1990 a 1993 fue del 3.77%. Actualmente el servicio de electricidad llega a 94 millones de mexicanos, cerca del 95% de la población, pero las necesidades de cobertura a futuro son mucho mayores. En los últimos tres años, las acciones de manejo de demanda han permitido ahorrar la generación, de por lo menos 3,485 gigawatts hora de energía, que significan el 3.8% del consumo, lo que equivale a dejar de emitir a la atmósfera un promedio de 5,000 toneladas de bióxido de azufre, 1,847 de óxido de nitrógeno y 3,579 toneladas de partículas suspendidas, además de 4,134 toneladas de CO₂.

La Comisión Nacional para el Ahorro de Energía (CONAE) y el Fideicomiso para el Ahorro de Energía Eléctrica (FIDE) son las instituciones encargadas de impulsar los programas de ahorro de energía. Los proyectos de manejo de demanda realizados entre 1990 y 1996, como el Horario de Verano lograron ahorrar más de 2,300 GWh, equivalentes al 1.87% de la demanda de 1996. En México, existen aproximadamente 2,000 empresas que pueden instalar sistemas de cogeneración rentables, sin embargo solo el 30% de las empresas están conscientes de los ahorros de estos

sistemas. A través de la cogeneración las empresas eléctricas pueden reducir el precio de la electricidad entre 6 y 10 centavos el KWh, en lugar de lo que actualmente pagan las industrias, que se encuentra entre 15 y 30 centavos por KWh. Al instalar los mecanismos de sistemas de cogeneración en 2,000 plantas, con un costo de 10,000 millones de dólares, significa un potencial de ahorro de 20,000 MW, que se pueden comparar con los 31,000 MW instalados en el país. En la próxima década se tendrán que instalar entre 1,500 y 2,000 MW anuales para responder adecuadamente a la demanda de energía del país (Díaz-Bautista, 2004).

El desarrollo del sistema eléctrico está encaminado a mejorar el bienestar social de la población y proporcionar un servicio de mejor calidad, acompañado de mejoras en eficiencia y confiabilidad. El sector eléctrico exige, debido a su configuración, proyecciones de largo plazo para poder satisfacer las demandas en tiempo y forma. Se espera que la demanda mundial de energía eléctrica en el periodo 2001-2015 presente un crecimiento del 2.4% anual (SENER, 2004).

III.3.1 Consumo per cápita de electricidad

El consumo de energía eléctrica por habitante en los países industriales en 2001 fue 3.5 veces mayor que el promedio mundial, con 7,608 KWh/habitante. Asimismo para finales del 2015 se espera que esta diferencia se mantenga prácticamente sin cambios, ubicándola en 3.4 veces mayor. Por el contrario, el promedio de consumo per cápita mundial es 2.7 veces mayor que el asiático; no obstante, hacia finales de 2015, se espera que este margen disminuya para ubicarse en solo 2.2 veces mayor. Este efecto es resultado de las altas tasas de crecimiento económico que se pronostican para Asia. Esta misma tendencia se espera en el consumo per cápita para los países en desarrollo, para los cuales se espera una tasa del 2.2%, misma que se ubica por encima del promedio mundial (Tabla 10). Norteamérica se ratifica una vez más como la región de mayor consumo por habitante de electricidad, registrando un consumo de energía per cápita en 2001 de 9,679 KWh/habitante; asimismo, para los próximos 15 años, se pronostica un aumento de 1,468 KWh por habitante. Un incremento similar se espera para Asia Industrializada donde se estima un crecimiento de 1,135 KWh por habitante a lo largo del periodo de análisis. Ambas regiones registran los mayores crecimientos en niveles de consumo por energía eléctrica. Las regiones de Europa Oriental/ExUnión Soviética, Asia, Centro y Sudamérica muestran un pronóstico alto para el consumo per cápita con tasas de crecimiento anual de 2.4%, 2.7% y 1.7% respectivamente. Cada tasa se ubica por encima del promedio mundial (1.2%) debido a que sus respectivos sectores de energía eléctrica continúan sin alcanzar la madurez y el crecimiento de sus demandas se mantiene elevado, especialmente por las tasas de crecimiento poblacional. Medio Oriente registra una de las tasas de crecimiento en el consumo per cápita más bajas con un 1.1% para el periodo del 2001 al 2015. No obstante se espera

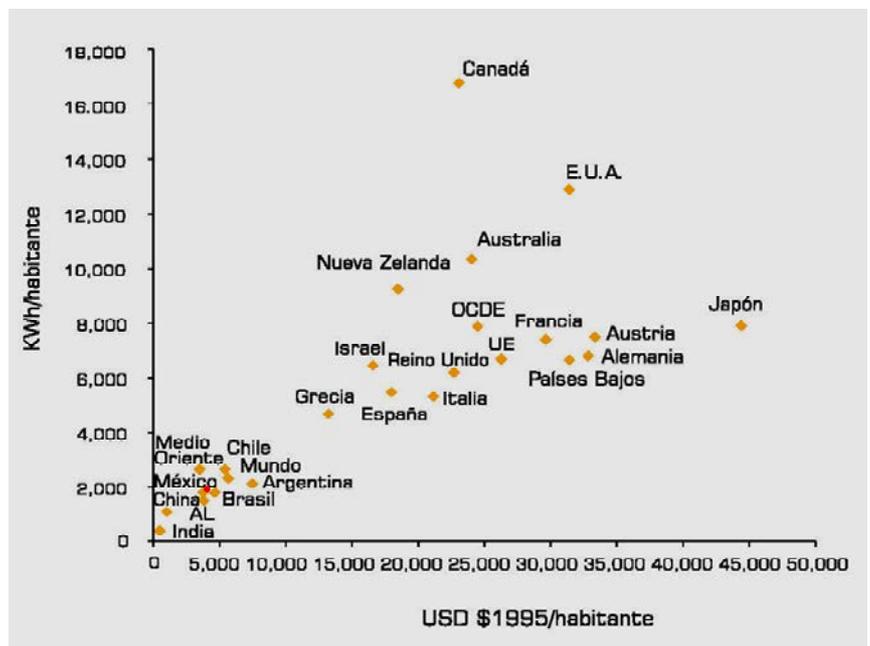
una tasa de crecimiento económico de 3.8% y una tasa demográfica de 1.9%, lo cual impactará en su consumo per cápita ocasionando que se incremente de 1,927 a 2,245 KWh/habitante, cifra cercana al promedio mundial (2,566 KWh/habitante). Debido a circunstancias similares, este mismo fenómeno se espera para Centro y Sudamérica, donde el incremento resultará en 404 KWh/ habitante para finales de 2015 (SENER, 2004).

Tabla 10. Consumo de energía eléctrica, 2001-2015 (TWh)

	2001	2010	2015	tmca 2001-2015
Mundial	13,290	16,358	18,453	2.4
Países industrializados	7,296	8,456	9,173	1.6
Norteamérica	4,036	4,839	5,306	2.0
Europa Occidental	2,246	2,486	2,659	1.2
Asia Industrializada	1,014	1,132	1,208	1.3
Europa Oriental/Ex-Unión Soviética	1,815	2,181	2,447	2.2
Países en desarrollo	4,179	5,721	6,833	3.6
Asia	2,650	3,723	4,508	3.9
Medio Oriente	476	635	723	3.0
África	384	499	602	3.3
Centro y Sudamérica	668	864	1,000	2.9

tmca= tasa media de crecimiento anual.
Fuente: Elaborado con información del reporte anual de la IEA/IEO 2003.

La posición de México de acuerdo con su consumo de energía eléctrica e ingreso per cápita lo coloca por debajo de la media mundial; sin embargo, su consumo per cápita supera al de América Latina (AL) lo cual lo sitúa en una mejor posición (Gráfica 1). Los países industrializados como Canadá y E.U.A. continúan mostrando altos índices de consumo de energía eléctrica per cápita junto con altos ingresos por habitante. En contraste, países como la India o China registran bajos niveles de ingresos relacionados con bajos niveles de consumo per cápita. Sin embargo, se espera para estos países que en los próximos años este escenario se modifique debido a las medidas que cada nación ha adoptado respecto al área eléctrica (SENER, 2004).



Gráfica 1. Ingreso y consumo por habitante en países seleccionados, 2002.

Fuente: Elaborado con base en International Energy Outlook 2003 e información del reporte anual de la OCDE.

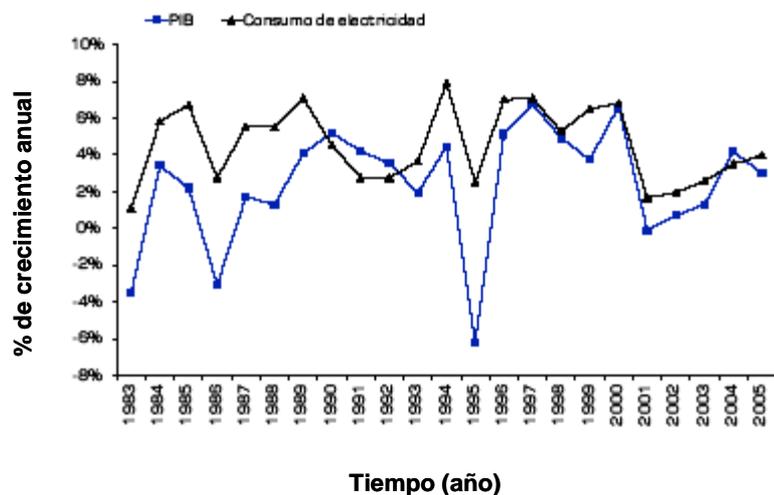
III.3.2 Capacidad instalada mundial de energía eléctrica

Durante 2004, la capacidad mundial instalada para la generación de energía eléctrica se incrementó en 2.8% respecto a 2003, ubicándose en 3,729 GW. Los países de Norteamérica concentran en conjunto, el 29.8% de la capacidad mundial instalada, destacando EUA, con 942 GW, lo que representa el 84.9% del total en Norteamérica y el 25.3% del total mundialmente instalado (SENER^a, 2006).

III.3.3 El Consumo nacional de electricidad

El fortalecimiento de la industria eléctrica se sustenta sobre las decisiones que se adopten ahora, para hacer frente a las exigencias de los próximos años. El creciente aumento de la población, la volatilidad en el precio de los combustibles y la mayor participación de los productores independientes reflejan los retos del sistema eléctrico mexicano. El consumo nacional de electricidad se define como la energía entregada a los usuarios con recursos de generación del sector público, proyectos de autoabastecimiento y cogeneración, productores independientes y de contratos de importación de energía.

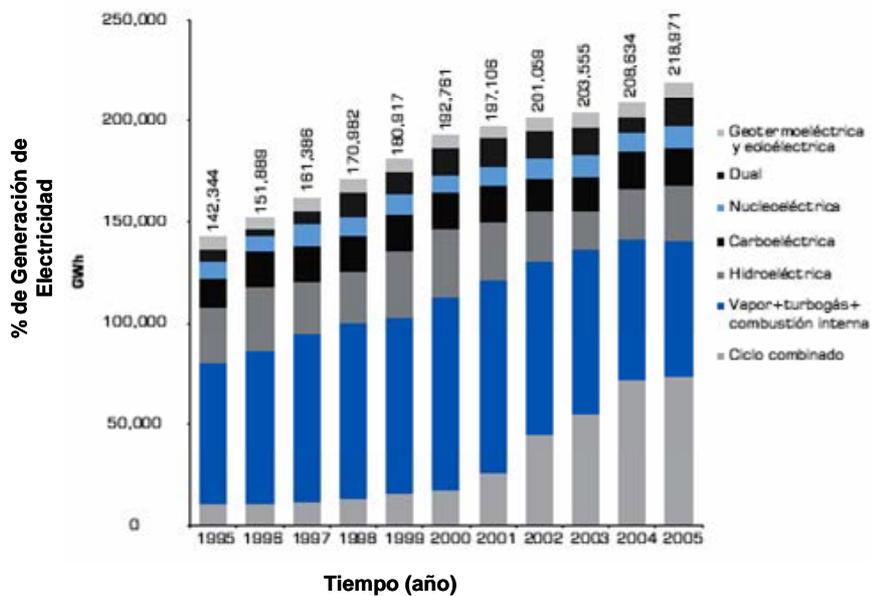
El consumo nacional de electricidad en 2005 ascendió a 191,339 GWh, lo que representó un crecimiento del 4.0% respecto al 2004, similar a la variación de 2003-2004 que se ubicó en 3.9%. En términos generales, el comportamiento de las ventas totales de energía eléctrica se encuentra altamente correlacionado, en forma positiva, con el ritmo de actividad económica, lo cual implica que por lo general, ante un incremento en el Producto Interno Bruto (PIB), el consumo de energía eléctrica aumenta (Gráfica 2). De esta manera, en 2005 el consumo de energía eléctrica creció en 4.0% en tanto que el PIB presentó una variación de 3.0%. Esto debido a un menor ritmo de crecimiento en ramas como la minería, industria manufacturera y construcción, así como una contracción en el sector agropecuario, silvicultura y pesca respecto a 2004 (SENER^a, 2006).



Gráfica 2. Evolución del consumo nacional de electricidad y PIB (1983-2005). Fuente: Comisión Federal de Electricidad

III.3.4 Producción de energía eléctrica

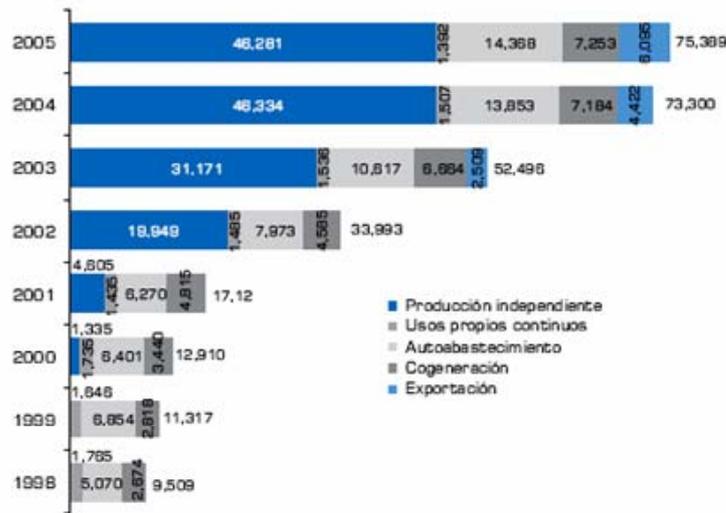
La generación de energía eléctrica en 2005 registró un aumento de 5.0% respecto a 2004, ubicándose en 218,971 GWh. La generación eléctrica con base a hidrocarburos representa el 70.7% de la generación eléctrica total. En 2005, la generación de las centrales de ciclo combinado (73,381 GWh) superó a la suma de la generación eléctrica de las centrales de combustóleo y/o gas (vapor), turbogás y combustión interna (67,215 GWh). Cabe señalar que la participación de las centrales de vapor, turbogás (resultado de las conversiones) y combustión interna ha disminuido de 49.0% en 1995 a 30.7% en 2005. (Gráfica 3) (SENER^a; 2006).



Gráfica 3. Generación bruta en el servicio público por tipo de planta, 1995-2005 (GWh)
Fuente: Comisión Federal de Electricidad

La generación privada de energía eléctrica es suministrada por los productores independientes (considerados dentro de la planeación del SEN) y la generación de los permisionarios en las modalidades de autoabastecimiento, cogeneración, autoabastecimiento, usos propios y exportación (CFE, 2003).

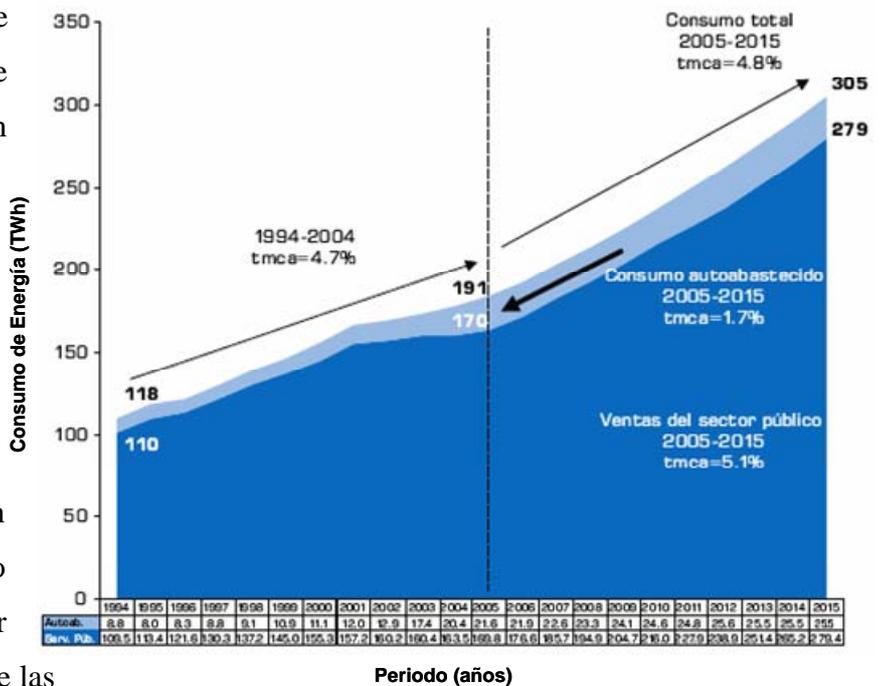
La generación de energía eléctrica de permisionarios en 2005 registró un ligero aumento de 2,089 GWh respecto a 2004, debido principalmente a los incrementos en la electricidad exportada y autoabastecida, de 37.8% y 3.7%, respectivamente. La electricidad generada por los Productores Independientes de Energía (PIEs) se mantuvo prácticamente sin cambio respecto a 2004 (Gráfica 4). La modalidad de exportación reportó en 2005 el mayor aumento en generación de energía eléctrica de 37.8%, ubicándose en 6,095 GWh, mientras que la modalidad de usos propios continuos disminuyó en 115 GWh. (SENER^a; 2006).



Gráfica 4. Generación de Energía Eléctrica de permisionarios por modalidad (GWh). Pronostico estimado por la Comisión Reguladora de Energía. (1998-2005).
Fuente: Comisión Federal de Electricidad.

III.3.5 Pronóstico del consumo nacional de electricidad 2004-2013

En forma consistente con el ritmo de actividad económica considerado en la planeación del Sistema Eléctrico Nacional (SEN), el cual ha experimentado ajustes recientes, se estima que el consumo nacional de electricidad para el periodo 2005-2015 muestre una tasa de crecimiento anual de 4.8%, lo que representa en términos absolutos 0.4% menos que en la prospectiva anterior, en la cual se consideró un crecimiento de 5.2% para el periodo 2005-2014. Se espera que el consumo muestre un incremento de alrededor de 113 TWh al pasar de 191.3 TWh en 2005 a 304.7 TWh en 2015. Este crecimiento estará impulsado principalmente por las ventas del servicio público, que se estima crecerán con un ritmo de 5.1% en promedio anual (Gáfica 5). Dentro de este rubro, se pueden identificar las ventas por tipo de usuarios, entre las



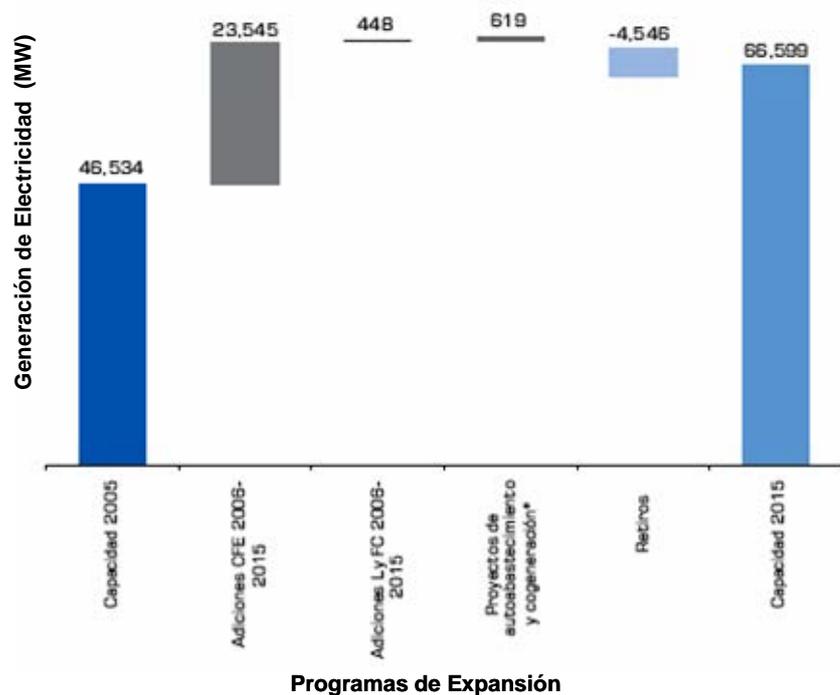
Gráfica 5. Consumo nacional de energía eléctrica (escenario de planeación) (TWh)
Fuente: Comisión Federal de Electricidad

cuales el sector industrial es de gran relevancia debido a su mayoritaria participación en las ventas totales, la cual en 2005 ascendió a 58.7% y se estima que alcance una participación de 61.4% en 2015 (SENER^a; 2006).

El programa de expansión del SEN se integra por la planeación del servicio público por la Comisión Federal de Electricidad (CFE) y Luz y Fuerza del Centro (LyFC) y la proyección de adiciones de capacidad de permisionarios de autoabastecimiento y cogeneración. Éstas adiciones de capacidad de permisionarios dentro del marco regulatorio vigente, permiten por una parte, el aprovechamiento del potencial de generación de electricidad en varios sectores así como en diferentes ramas industriales que por las características de sus procesos, ofrecen posibilidades de ahorro de energía y mitigación de costos y, por otra parte, le permite a diferentes tipos de usuarios diversificar las fuentes de suministro de energía eléctrica.

Durante el periodo 2006-2015, el programa de expansión de CFE requerirá adiciones de capacidad por 23,545 MW de los cuales, se tienen 6,549 MW de capacidad comprometida y 16,995 MW de capacidad no comprometida. Adicionalmente, el programa de LyFC iniciará la puesta en operación del proyecto de generación distribuida en la región Centro del país, el cual adiciona 448 MW de capacidad comprometida. En suma, por parte del servicio público se adicionarán 23,993 MW durante el periodo 2006-2015. Por otra parte, se estima una capacidad adicional neta de autoabastecimiento y cogeneración de 619 MW, considerando los proyectos del sector privado al igual que del servicio público, específicamente Pemex con los proyectos de cogeneración en Nuevo Pemex y Tula, con 284

MW y 213 MW de autoabastecimiento remoto, respectivamente. Asimismo, hacia 2015 se prevé realizar retiros de capacidad obsoleta e ineficiente del servicio público de energía eléctrica por 4,546 MW. Desde una perspectiva integral, considerando las adiciones del servicio público, privado y retiros, el sistema eléctrico



Gráfica 6. SEN: Programa de Expansión 2006-2015 (MW)
Fuente: Comisión Federal de Electricidad

nacional contará con una capacidad total de 66,599 MW en 2015 (Gráfica 6) (SENER^a; 2006).

La capacidad comprometida o en construcción ascenderá a 6,997 MW, cifra conformada por 6,549 MW de CFE y 448 MW de LyFC. Esta capacidad está programada para iniciar operaciones durante el periodo 2006-2011. La distribución geográfica de la capacidad comprometida puede observarse en la figura 20. En el caso de la costa del Golfo de México, las nuevas centrales que operarán son Altamira V y Tuxpan V, las cuales en conjunto aportarán 1,663 MW de capacidad

bruta al SEN. Asimismo, en la Península de Yucatán se encuentra en operación la central Valladolid III, con 540 MW. Por otro lado, cerca de la costa del Pacífico operará la central eoloeléctrica La Venta II, la cual contribuirá a diversificar el parque de generación en nuestro país al aportar 83 MW, así como también la central hidroeléctrica El Cajón añadirá 754 MW de capacidad a partir de 2007. Adicionalmente, la central Tamazunchale en el Estado de San Luis Potosí iniciará operaciones en este último año, con una importante capacidad instalada de 1,168 MW con tecnología de ciclo combinado (SENER^a; 2006).

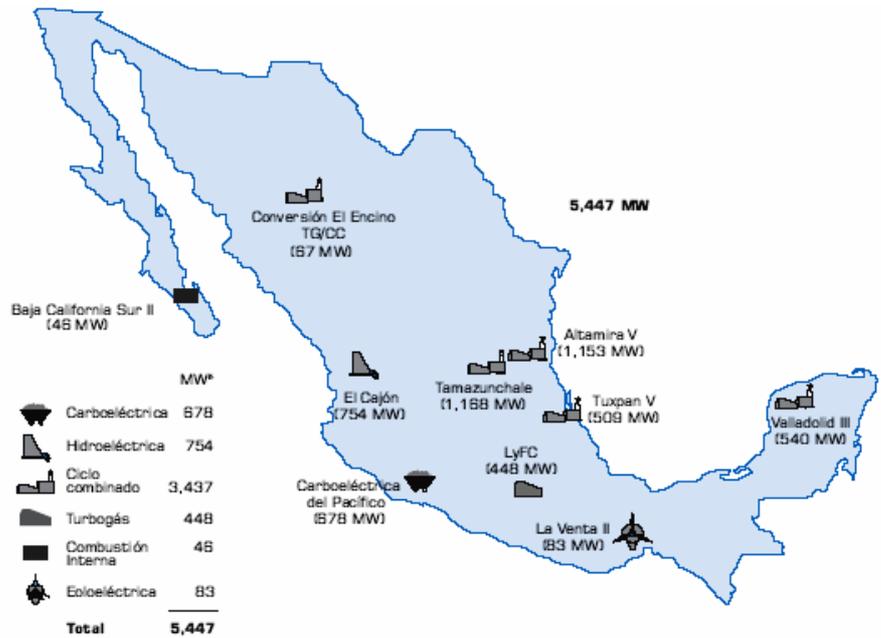


Figura 20. Centrales en proceso de construcción o comprometidas Fuente: Comisión Federal de Electricidad

El Cajón añadirá 754 MW de capacidad a partir de 2007. Adicionalmente, la central Tamazunchale en el Estado de San Luis Potosí iniciará operaciones en este último año, con una importante capacidad instalada de 1,168 MW con tecnología de ciclo combinado (SENER^a; 2006).

III. 3.6 Evolución de la capacidad instalada por región estadística

Durante el periodo 2006-2015, se espera que la capacidad de generación eléctrica en el servicio público presente un incremento neto de 16,773 MW, al pasar de 49,207 MW a 65,980 MW. La región con el mayor incremento será el Centro-Occidente, donde la capacidad total registrará adiciones netas por 6,845 MW, debido al fuerte incremento en la instalación de centrales de ciclo combinado y centrales hidroeléctricas en esa región. En contraste, en la región Centro se instalarán las menores adiciones durante el periodo, es decir, 1,789 MW. (SENER^a; 2006) Figura 21.

Noroeste

Se estima que en esta región la capacidad instalada se incremente en 3,336 MW durante el periodo 2006-2015, donde la tecnología que registrará el mayor incremento será la carboeléctrica con la instalación de las centrales Topolobampo I y II en 2014 y 2015, respectivamente. Asimismo,

en este último año la tecnología de ciclo combinado participará con el 28.7% de la capacidad total de la región.

Noreste

En 2005, la región Noreste concentró la mayor capacidad regional de tecnología de ciclo combinado instalada con 6,447 MW, lo que representa el 13.9% del total nacional instalado por el servicio público. Asimismo, se pronostica un incremento neto de 676 MW durante el periodo 2006-2015, para ubicarse en 8,475 MW al final del mismo. La importante presencia de productores independientes en la región, hace de ésta, un área geográfica estratégica en lo que se refiere a la generación de energía eléctrica y consumo de gas natural. Por otra parte, las centrales carboeléctricas Carbón II y Río Escondido, en Coahuila, tienen una capacidad conjunta de 2,600 MW y no se tiene programado un aumento de capacidad en estas centrales. En cuanto a la capacidad libre, ésta ascenderá a 2,852 MW al final del periodo, y podrá ejecutarse mediante diversas tecnologías.

Centro-Occidente

Al igual que en la Prospectiva del sector eléctrico 2005- 2014, en esta región el programa de expansión considera adicionar la mayor capacidad, la cual asciende a 6,845 MW para el lapso 2006-2015. Las plantas de ciclo combinado concentrarán el 91.2% de este incremento, es decir, 6,240 MW. Asimismo, otro incremento importante se realizará en la capacidad de generación hidroeléctrica, la cual aumentará en 2,243 MW, impulsado por las centrales El Cajón, la Yesca y el proyecto de ampliación Villita, entre otras. Por otra parte, hacia 2015 se observará una disminución de la capacidad en centrales termoeléctricas basadas en combustóleo.

Centro

En la región Centro las adiciones de capacidad planeadas se realizarán mediante el proyecto de generación distribuida de LyFC, así como la repotenciación de las unidades 1, 2 y 3 de la central Valle de México con una capacidad de 380 MW cada una. Asimismo, se espera un ligero incremento en la capacidad geotérmica mediante el proyecto Humeros en Puebla. Dicho incremento será de 51 MW y está programado para 2010.

Sur-Sureste

En la región Sur-Sureste, la cual concentra la mayor diversidad de tecnologías de generación eléctrica en el país, se esperan adiciones de capacidad por 2,741 MW durante el periodo 2006-2015. Adicionalmente a los PIE's y la central eólica La Venta II que iniciarán operaciones en 2006, en esta región se tiene programada la instalación de 1,400 MW de capacidad libre que podría ejecutarse mediante proyectos basados en diversas fuentes de energía tales como carbón, gas natural, uranio, gas de síntesis, entre otras.

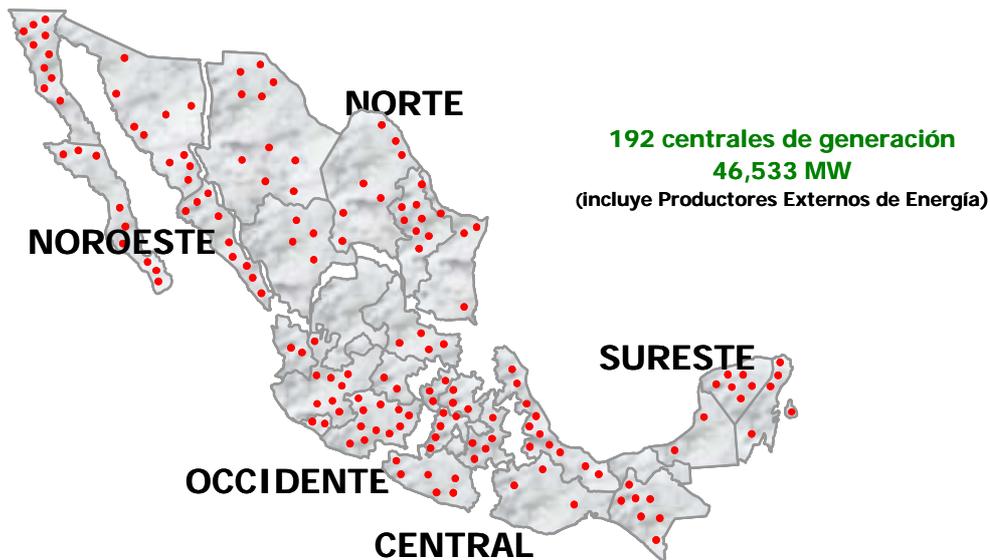


Figura 21. Centrales de Generación Eléctrica en México Fuente: CFE

III. 3.7 Requerimientos de inversión del sector eléctrico nacional

El desarrollo económico de México requiere cuantiosas inversiones para asegurar el abasto de energía eléctrica, que tiene un impacto en las actividades productivas y en la calidad de vida de la población. Se prevé que la inversión requerida para el sector eléctrico nacional sea 593 mil millones de pesos para el periodo 2004-2013. Dicha inversión estimada es necesaria para satisfacer el crecimiento anual de 5.6 % del consumo nacional de energía eléctrica. Del total de inversiones necesarias, el 44.5% corresponde a generación, el 19.7% a infraestructura en la red de transmisión, el 20.1% a la red de distribución, el 13.9% en obras de mantenimiento y 1.8% en otras inversiones presupuestales (SENER, 2004).

III.4 GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA Y MEDIO AMBIENTE

La generación de energía eléctrica en el mundo depende principalmente de combustibles fósiles. En 2004, el 66.1% de la electricidad se produjo en centrales térmicas (con combustión de derivados del petróleo, gas natural y carbón), el 15.7% en centrales nucleares, 16.1% en hidroeléctricas y 2.1% mediante otras fuentes de energía (IEA, 2006). En ese mismo año (2004), el principal energético utilizado para la generación eléctrica fue el carbón con 39.8%, seguido del gas natural con 19.6% y los derivados del petróleo con 6.7%. Se espera que en año 2020 la participación del gas natural se incremente a escala mundial en un 26.5% y que la participación del carbón y de la energía nuclear se reduzca en un 31.7% y 12.2%, respectivamente. Por su parte, las energías renovables representarán el 20% de la producción de la energía eléctrica (IEA 2002). Uno de los inconvenientes del uso de combustibles fósiles son las emisiones contaminantes locales y de gases

de efecto invernadero, principalmente el bióxido de carbono (CO_2). Entre los principales contaminantes emitidos por el uso de dichas energéticas tenemos a los: óxidos de nitrógeno (NO_x), el bióxido de azufre (SO_2), el monóxido de carbono (CO), los hidrocarburos no quemados (HC) y las partículas suspendidas (Laguna, 2002).

La concentración de NO_x depende de la composición del combustible y de la temperatura de combustión. La producción de CO e hidrocarburos no quemados depende de la eficiencia del proceso de combustión. En presencia de radiación ultravioleta los NO_x reaccionan con los hidrocarburos no quemados produciendo contaminación fotoquímica. La producción de NO_x tiene dos causas, la primera de ellas es la oxidación del nitrógeno contenido en el aire comburente (NO_x térmico) y la segunda, la reacción del nitrógeno contenido en la composición del combustible (NO_x del combustible) (Laguna, 2002).

Otro problema ambiental relacionado con la generación de electricidad es la lluvia ácida. Los principales compuestos relacionados con la formación de lluvia ácida son el SO_2 y los NO_x . Dichos compuestos reaccionan en las nubes formando una mezcla de ácido sulfúrico (H_2SO_4) y ácido nítrico (HNO_3), los cuales se precipitan a través de la lluvia y nieve. También se deposita acidez en la superficie en forma de partículas secas que en contacto con la lluvia originan un medio corrosivo (Laguna, 2002).

III.4.1 La tecnología en la generación de energía eléctrica

Para poner en perspectiva los nuevos desarrollos en tecnologías para la generación de electricidad, es conveniente analizar los factores que impulsaron estos desarrollos. En la actualidad, las grandes preocupaciones del sector eléctrico en materia de generación son el costo de la energía eléctrica y la seguridad de su suministro, relacionados con la disponibilidad y precios de combustibles, así como los impactos ambientales de la generación, particularmente el calentamiento global y, en México, la reducción de emisiones de SO_x . (SENER^a; 2006).

Un hecho observable en el sector eléctrico, es la implementación de estrategias de diversificación de fuentes de energía y mitigación de riesgos derivados de la alta volatilidad de los precios del gas natural, lo cual ha resultado del análisis de varias opciones tecnológicas adicionales al ciclo combinado, tales como la nuclear y el carbón, en las cuales los costos de generación eléctrica son más estables debido a la menor volatilidad del precio del combustible. Una vertiente de los desarrollos se ha orientado a las energías renovables. En energía eólica se han reducido los costos de inversión por kW instalado a montos que van de 1,200 a 1,400 dólares, lo cual sigue siendo alto dadas las limitaciones de disponibilidad de esta fuente primaria. (SENER^a; 2006).

La misma tecnología básica se está desarrollando para el aprovechamiento de corrientes marinas, aunque esta opción es incipiente. En energía solar se tienen las opciones de la energía solar térmica y la fotovoltaica. En solar térmica hay algunos desarrollos, incluyendo uno en México, que normalmente se asocian a centrales termoeléctricas (fósiles) y se utilizan para mejorar su eficiencia. Los sistemas fotovoltaicos para generación eléctrica todavía resultan demasiado caros, pero se espera que en el mediano plazo tengan un papel importante. Estos equipos fotovoltaicos, por ser de tamaños pequeños, requieren que se establezcan sistemas para operar una red con generación distribuida, lo cual también presenta sus problemas técnicos que tomará tiempo resolver (IIE, 2006).

Otra vertiente de los desarrollos ha sido el aprovechamiento más eficiente de los combustibles fósiles, con tecnologías que a la vez se presten a la eventual separación y captura del bióxido de carbono. La tecnología que ha resultado, es la Gasificación Integrada a Ciclos Combinados (IGCC), utilizando ya sea carbón, coque de petróleo, residuales de refinación o biomasa. Esta tecnología aprovecha las ventajas de la alta eficiencia de las turbinas de gas, así como la facilidad de manejar corrientes de gases que son relativamente fáciles de limpiar, reteniendo el azufre y facilitando la separación del CO₂, aunque esta última función no está operando todavía. En la actualidad las centrales de gasificación requieren inversiones que oscilan entre 1,250 y 1,600 dólares por kW instalado y tienen eficiencias netas del orden del 42%, que se comparan con el 38% de las centrales convencionales. En las tecnologías de gasificación hay que considerar el impacto del proyecto FUTURE-GEN que está impulsando EUA, invirtiendo 1,000 millones de dólares para tener una central de gasificación con separación y captura de CO₂, que ciertamente impulsará esta tecnología hacia adelante. La tecnología de gasificación ha venido a desplazar en el mediano plazo a la tecnología de combustión en lecho fluidizado, que tiene la gran ventaja de retener el azufre, pero que no se presta a la separación del CO₂. Sin embargo, a corto plazo esta tecnología está encontrando aplicación en nichos particulares en los que conviene utilizar combustibles de muy mala calidad por su contenido de cenizas (IIE, 2006).

Finalmente, la otra rama tecnológica que resurge en el sector eléctrico mundial es la nuclear, esta tecnología se presenta como la más económica para generar electricidad, por los bajos precios del combustible nuclear; o, en evaluaciones menos optimistas, como muy cercana a ser competitiva. Las inversiones requeridas están en la actualidad entre 1,800 y 2,000 dólares por kW instalado y se espera que al tener más experiencia con los reactores de nuevo diseño actual, estos montos de inversión se puedan reducir a niveles de 1,500 dólares por kW instalado. La tecnología tiene además la ventaja de tener muy bajas emisiones de CO₂ comparadas con cualquier combustible fósil, aunque todavía tiene rechazo entre varios sectores de la población mundial (IIE, 2006).

Como hemos visto la energía eléctrica juega un papel fundamental en el desarrollo de toda sociedad moderna y economía de mercado por lo que sería imposible tener una visión de progreso tecnológico, desarrollo económico y bienestar para la población sin un sistema eléctrico moderno, eficiente y competitivo; por ello, diversas naciones con distinto grado de desarrollo se encuentran desde hace algunos años inmersas en una profunda transformación estructural para mejorar la eficiencia y la calidad de los servicios eléctricos.

En México, el suministro del servicio público de energía eléctrica mediante las empresas del Estado ha permitido importantes avances en materia de capacidad de generación y de cobertura de energía eléctrica para la población. Sin embargo, esta estrategia, que fue válida hace 40 años por las condiciones económicas y políticas del país, así como por la tecnología del momento, ya no es la más apropiada para garantizar un servicio eléctrico de calidad y a precios competitivos.

Actualmente, el incremento de la demanda de electricidad es mayor al crecimiento de nuestra economía. Esto se debe, principalmente, al desarrollo de las actividades económicas del país y al aumento de la población. El mayor consumo de electricidad se da en la actividad industrial, la cual crea poco más de la mitad de los empleos permanentes del país. Así, nuestra capacidad de generar electricidad está llegando a su límite. El sector energético participa con 3.3% del Producto Interno Bruto (PIB) nacional y genera energía eléctrica por medio de tecnologías avanzadas. Desde las hidroeléctricas hasta las termoeléctricas y plantas de energía solar, eólica y nuclear

Sin embargo, todo proceso industrial tiene un doble efecto. Por un lado beneficia al desarrollo económico y al bienestar de la población, pero por otro genera daños al ambiente, de aquí la importancia de aprovechar de manera sustentable los recursos energéticos, al ahorrar y renovar la energía, para lo cual se han establecido programas y normas que buscan promover y apoyar el desarrollo de proyectos de ahorro de energía y aprovechamiento de energías renovables, mediante instalaciones con tecnología más avanzada como lo es la turbina de combustión y el acoplamiento de las centrales del ciclo combinado, así como las mejores medidas disponibles de control de emisiones de contaminantes.

CAPITULO IV. GENERACIÓN DE EMISIONES

En este capítulo se presentan las emisiones procedentes de la generación de electricidad en México, de acuerdo al consumo de combustibles fósiles, así como factores de emisiones para centrales específicas, correspondientes a los años 1999, 2001 y 2002, se analiza una prospectiva de las emisiones futuras para el año 2007 de acuerdo al inventario presentado en 1999.

Como ya se mencionó anteriormente el sistema de energía eléctrica en América del Norte es muy diverso y sumamente complejo, con importantes implicaciones para el desempeño económico nacional, la seguridad energética y la calidad de vida. La generación de electricidad se basa en un modelo conocido, que se reproduce en todo el mundo. Grandes centrales eléctricas, a menudo ubicadas en localidades rurales, ponen en marcha generadores para alimentar una red expansiva de líneas de transmisión de alto voltaje. Estos generadores se sincronizan cuidadosamente, todos giran al unísono y en general funcionan con base en el carbón, gas, petróleo, energía nuclear, o bien, por medio del agua de presas (Figura 22) (Miller, *et al.* 2004).

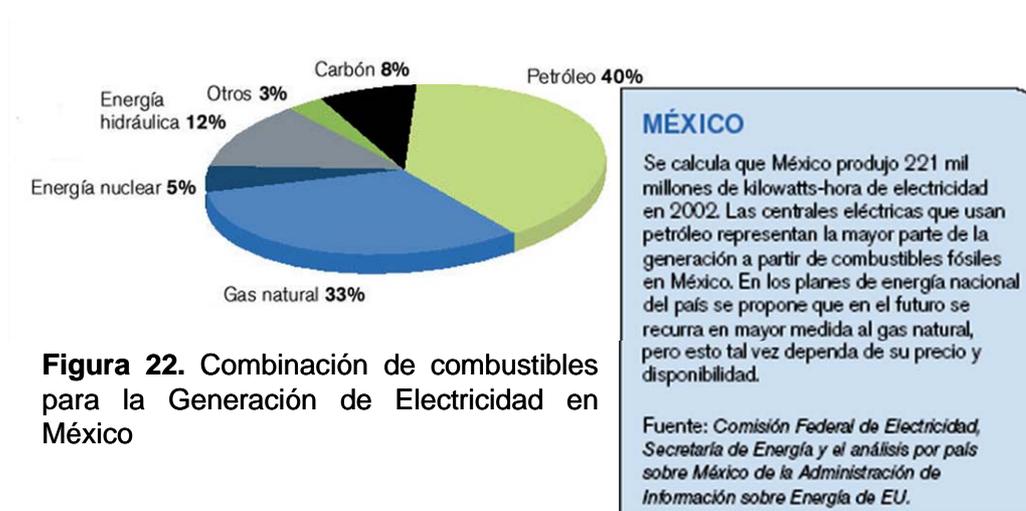


Figura 22. Combinación de combustibles para la Generación de Electricidad en México

IV.1 EMISIONES ATMOSFERICAS DE LAS CENTRALES ELECTRICAS

Las emisiones generadas en el sector eléctrico se deben a la quema de combustibles fósiles, por lo tanto la intensidad de emisiones varía en cada una de las centrales generadoras. De manera general se considera que, dado la importancia de su impacto, las principales emisiones del sector eléctrico son: SO₂, NO_x y CO₂. De acuerdo al último Inventario Nacional de Emisiones (2002), las emisiones del sector eléctrico se han originado principalmente por el uso de combustóleo; sin embargo, como resultado de los cambios tecnológicos orientados hacia la generación basada en gas natural, se han disminuido las emisiones de CO₂ por GWh generado. De 1994 al 2004, las emisiones del sector eléctrico provinieron principalmente del combustóleo y del carbón, creciendo a una tasa promedio del

3.2% anual, pasando de 82 millones de toneladas de CO₂ en 1994 a 114 millones de toneladas de CO₂ en el 2004, y se prevé que para el 2014 estas emisiones se incrementen hasta los 160 millones de toneladas.

IV.1.1 Dióxido de Azufre (SO₂).

Tanto el carbón como el petróleo contienen concentraciones diversas de azufre, lo que puede dar como resultado que las centrales eléctricas produzcan SO₂ cuando queman estos combustibles. El gas natural es una fuente relativamente menor de SO₂ durante la combustión. Las centrales eléctricas de Canadá, Estados Unidos y México contribuyen con 20%, 69% y 55% de sus respectivas emisiones nacionales de SO₂ (Tabla 9) (EC, 1995; OECD, 2002; EPA, 2002).

IV.1.2 Óxido de Nitrógeno (NO_x).

Las emisiones de NO_x se forman como un subproducto de la quema de combustibles a altas temperaturas y se producen durante la quema de todos los combustibles fósiles (Miller *et al.* 2004). Las centrales eléctricas de Canadá, Estados Unidos y México contribuyen con 11%, 22% y 27% de sus respectivas emisiones nacionales de NO_x. Los vehículos automotores y otras fuentes de combustión también son responsables en un grado importante de las emisiones de NO_x, en particular en áreas pobladas (Tabla 9) (EC, 1995; OECD, 2002; EPA, 2002).

IV.1.3 Mercurio.

Las centrales eléctricas, al igual que otras fuentes naturales e industriales, emiten cantidades significativas de mercurio a la atmósfera. (Miller *et al.* 2004). Sólo tres centrales eléctricas funcionaron con base a carbón en México en 2002. Estas centrales fueron responsables del 3% de las emisiones atmosféricas de mercurio (Tabla 9) (Vijay, 2004).

IV.1.4 Dióxido de Carbono.

Como hemos venido mencionando el CO₂ es el gas de efecto invernadero más abundante emitido por actividades humanas. Las centrales eléctricas que usan combustibles fósiles de Canadá, Estados Unidos y México son responsables de 23%, 39% y 30% de sus respectivas emisiones nacionales de CO₂ (WRI, 2003^a; WRI, 2003^b; EPA, 2002) por lo que contribuyen significativamente a las emisiones de gases de invernadero en sus territorios. (Tabla 11).

Tabla 11. Cálculo de emisiones de gases contaminantes. Emisiones totales por habitante y por unidad de PIB

Gases contaminantes	Total de emisiones por centrales eléctricas (miles de toneladas)	Emisiones per cápita (kilogramos/ persona)	Emisiones por unidad de PIB (kilogramos/ \$miles de millones)
Dióxido de azufre	1,558	15	1,684, 963
Óxidos de Nitrógeno	251	2	271,268
Mercurio	1.0	10	1
Dióxido de carbono	94	901	102,209

Fuente: (Miller *et al.* 2004)
Cálculos del PIB: CIA World Factbook en línea <http://www.cia.gov/cia/publications/factbook>

IV. 2 DATOS DE EMISIONES

En esta sección se presentan datos de emisiones de contaminantes para México en relación al sector de energía eléctrica para los años 1999, 2001 y 2002; los datos de 1999 fueron tomados del estudio *Estimating Future Air Pollution from New Electric Power Generation* (Miller, 2001) en donde estimaron las emisiones futuras para los cuatro contaminantes (SO₂, NO_x, CO₂ y Hg) en la generación de electricidad para Norte América basados en proyecciones de cambios futuros en la capacidad de generación de electricidad. Los datos del 2001 y 2002 provienen de una base de datos compilada en un informe titulado *Cálculo de emisiones de contaminación atmosférica por uso de combustibles fósiles en el sector eléctrico mexicano* (Vijay, 2004) cuya elaboración fue encomendada por la Comisión para la Cooperación Ambiental de América del Norte (CCA). En dicho documento se calculan las emisiones y los índices de emisión por generación para centrales eléctricas mexicanas con base en el consumo de combustible y los datos sobre generación facilitados por la Secretaría de Energía (Sener) de México. Para cada central, se multiplico el consumo de combustible total anual por central por los respectivos factores de emisión para los cuatro contaminantes. Los factores de emisión usados para los diversos tipos de combustible y tipos de calentamiento se enumeran en la tabla 12.

Los índices de emisiones de los cuatro contaminantes han sido omitidos de la tabla 13, pero pueden ser consultados en las tablas del Apéndice 1 donde se presentan los datos de las 82 plantas incluidas en el cálculo de emisiones al menos para el año 2002.

Estos índices de emisión basados en la generación representan una medida de la cantidad de emisiones de SO₂, NO_x, CO₂ y Hg liberadas a la atmósfera por megawatt-hora (MWh) de electricidad producida. Los índices de emisión permiten comparar el desempeño relativo en cuanto a emisiones de centrales de diferente tamaño y con diferentes índices de utilización. Existe una amplia variación en los índices de emisión de SO₂ y NO_x lo cual pueda darse por: 1) distintos niveles de control de contaminación, 2) diferencias en las características de los combustibles usados y 3) diferencias en la eficiencia de las centrales eléctricas. En cuanto a los Índices de emisión de mercurio de las centrales

eléctricas varían en parte debido a las diversas concentraciones de mercurio en el carbón. El mercurio está presente como impureza natural en el carbón y las concentraciones varían sustancialmente entre tipos de carbón e incluso dentro del mismo tipo de carbón. Y por otra parte las emisiones de CO₂ de una central eléctrica que usa combustibles fósiles dependen de: 1) la cantidad de carbono que contiene el combustible y 2) la eficiencia de la central para convertir este combustible en electricidad (Miller, 2004).

Tabla 12 Factores de emisión usados para la generación de electricidad en México (Combustóleo y diesel)

Combustible	Tipo de combustión	Configuración de la caldera	CO ₂ ¹ t m ⁻³	Hg ² kg m ⁻³	NO _x Kg m ⁻³	SO ₂ ³ kg m ⁻³
Combustóleo	Externa	Normal	3.04	1.35E-05	5.63	18.81*S%
	Externa	Tangencial	3.04	1.35E-05	3.83	18.81*S%
Diesel	Externa	Normal	2.66	1.35E-05	5.63	18.81*S%
	Externa	Tangencial	2.66	1.35E-05	3.83	18.81*S%
Diesel	Interna	Motor recíproco	2.66	1.35E-05	72.37	18.81*S%
Diesel	Interna	Turbina	2.61	2.00E-05	14.66	18.81*S%
Factores de emisión usados para la generación de electricidad en México (Gas Natural)						
Combustible	Tipo de combustión	Configuración de la caldera	CO ₂ ¹ t/Mm ³	Hg ² Kg/Mm ³	NO _x Kg/Mm ³	SO ₂ ³ Kg/Mm ³
		> 100 MMBTU/Hr				
Gas Natural	Externa	Normal	1.92	4.17E-03	4486.14	9.61
		< 100 MMBTU/Hr				
	Externa	Normal	1.92	4.17E-03	1602.19	9.61
	Externa	Tangencial	1.92	4.17E-03	2723.73	9.61
Gas Natural	Interna	Turbina	1.92	4.17E-03	5127.02	9.61
Factores de emisión para centrales carboeléctricas en México						
Combustible	Tipo de combustión	Configuración de la caldera	CO ₂ ¹ t t ⁻¹	Hg ² Kg t ⁻¹	NO _x Kg t ⁻¹	SO ₂ ³ Kg t ⁻¹
Carbón bituminoso	Externa	Fondo Húmedo, pared	1.465402	8.30E-05	15.50	19*S%
Carbón pulverizado bituminoso	Externa	Fondo seco, pared	1.465402	8.30E	11.00	19*S%
Carbón pulverizado bituminoso	Externa	Fondo Húmedo Tangencial	1.465402	8.30E	7.00	19*S%
Carbón pulverizado bituminoso	Externa	Fondo seco, Tangencial	1.465402	8.30E	7.50	19*S%
Fuente: EPA, AP-42 (1998), tomado de FIRE V. 6.23						
1. Sener (2003)						
2. Factores de emisión de mercurio tomados de Acosta (2001)						
3. S% indica porcentaje de S en el combustible respectivo, por peso.						

Sólo unas cuantas centrales en México cuentan con capacidad de medición continua de emisiones; por consiguiente, las únicas opciones viables para el cálculo de las emisiones son el uso de factores de emisión o las mediciones periódicas en la chimenea. Aunque los datos de medición en la chimenea pueden arrojar información más confiable que el uso de factores de emisión, hay ciertos problemas con la aplicación de este método para el sector eléctrico mexicano. En primer lugar, las mediciones periódicas de emisiones en la chimenea se reportan como parte de la Cédula de Operación Anual y no se dan a conocer públicamente. En segundo lugar, las mediciones periódicas de emisiones

también se usan para comparar los resultados de emisiones de la central con las normas vigentes; por lo tanto, los operadores de las centrales tienen un incentivo para efectuar estas mediciones mientras las condiciones sean “óptimas”. La falta de aleatoriedad en las mediciones y su baja frecuencia hacen que este método sea menos adecuado para los cálculos de emisiones anuales (Vijay, 2004).

La Secretaría de Energía (SENER) basa su cálculo de emisiones anuales en los factores de emisión que usa la CFE en la actualidad, aplicados a las siguientes cuatro categorías de centrales de manera uniforme (SENER 2003): grandes termoeléctricas a base de vapor, pequeñas termoeléctricas a base de vapor, centrales de ciclo combinado y generadores de turbogás. Aunque este método permite obtener cálculos de emisiones de primer orden razonables, plantea varios problemas. No hay una distinción establecida en cuanto al tipo de calentamiento (tangencial o normal), lo que puede ocasionar una sobreestimación de las emisiones de NO_x . Además, no se tiene en cuenta el impacto de las dimensiones del equipo de combustión. Las instalaciones más grandes tienden a presentar factores de emisión mayores para NO_x debido a sus temperaturas de combustión más altas, lo que da como resultado la formación de NO_x térmico (Beer, 2000).

La mayoría de las centrales en México no tienen controles de emisiones instalados. Datos de la Cédula de Operación para 2002 (SEMARNAT, 2004) indican la instalación de un dispositivo de control para NO_x y dos para partículas sólidas (no podemos revelar los nombres de estas centrales dada la naturaleza confidencial de la información establecida en la Cédula de Operación). Sin embargo, resulta seguro suponer que hay controles de partículas sólidas instalados en las centrales carboeléctricas, debido al alto contenido de cenizas (37 por ciento por peso) del carbón mexicano (Rangel, 2002).

IV.2.1 Emisiones de SO_2

Las emisiones de contaminantes no sólo dependen del tipo de combustible, sino también del tipo y la configuración de la caldera, por ejemplo, si es de calentamiento tangencial o de pared y fondo húmedo o seco. Sin embargo, las emisiones de SO_2 son directamente proporcionales al contenido de azufre en el combustible y la cantidad de combustible consumido. Por ende, la precisión de los cálculos de SO_2 depende, a su vez, de la precisión con la que se notifica el contenido de azufre en el combustible.

IV.2.2 Emisiones de CO_2

Para una composición de combustible dada, es posible calcular valores bastante precisos de este importante gas de invernadero. Suponiendo que hay una combustión completa, es fácil calcularlos

a partir de la composición química del combustible. Aplicando los factores de emisión usados por la CFE para calcular emisiones de CO₂ (Vijay, 2004).

IV.2.3 Emisiones de NO_x

Las emisiones de NO_x son una función del tipo de combustible y la temperatura de combustión. En general, las instalaciones más grandes tienen factores de emisión mayores porque operan a una temperatura más elevada. Además, la configuración del equipo de combustión puede afectar significativamente el índice de formación de óxidos de nitrógeno. En el caso de las calderas que usan combustóleo o gas natural, el factor de emisión es mayor que en las calderas de calentamiento tangencial. Por consiguiente, es esencial contar con información sobre el tipo de calentamiento de cada unidad (Vijay, 2004).

En cuanto a las emisiones de mercurio, se revisó un estudio previo solicitado por la Comisión para la Cooperación Ambiental (CCA) a fin de calcular las emisiones de diferentes categorías de fuentes en México (Acosta 2001).

En la tabla 13 se presenta la lista de las emisiones para los cuatro contaminantes considerados en esta evaluación. Del total de 32 estados, 10 no cuentan con ninguna capacidad de generación instalada a base combustibles fósiles o bien, presentan emisiones insignificantes de los 4 contaminantes considerados. Estos estados son: Aguascalientes, Chiapas, Michoacán, Morelos, Nayarit, Oaxaca, Puebla, Tabasco, Tlaxcala y Zacatecas.

Se han analizado las emisiones para los años 1999, 2001 y 2002, con un total de 92023.46, 106522.3 y 96290.26 Kt respectivamente, siendo el 2001 el que presenta una mayor cantidad de emisiones ya que para este año se registró un aumento del 11.72% en la capacidad instalada. En cuanto al 2002 se observa una tendencia a la reducción de emisiones de un 9.6 % respecto al 2001 ver gráfica 7.

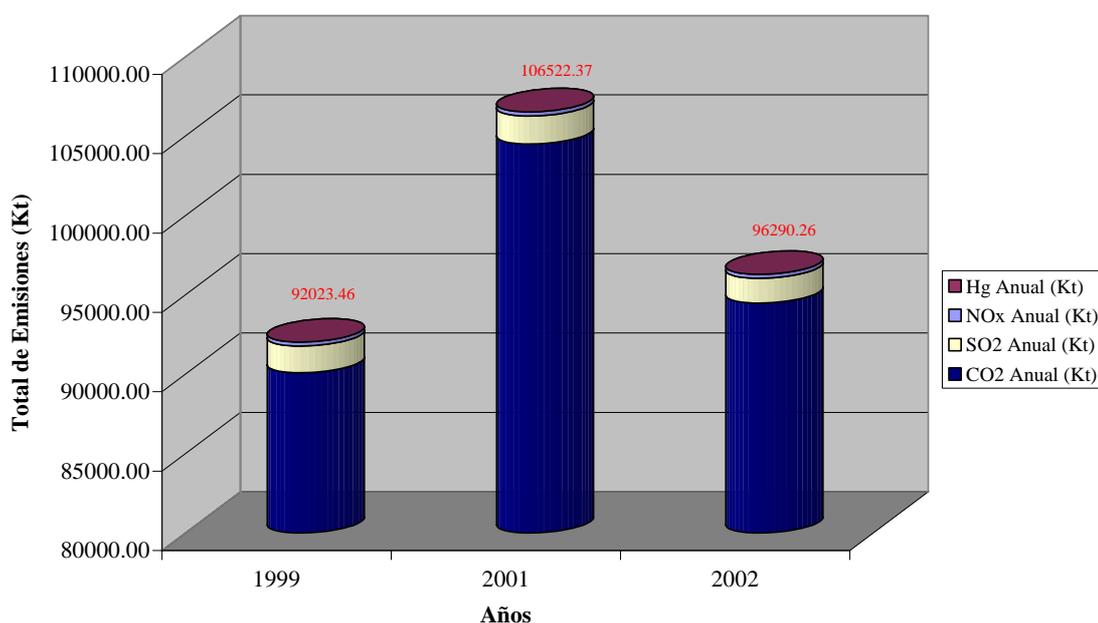
Tabla 13

Capacidad de Generación Instalada, Generación de Electricidad a base de Combustibles Fósiles y Emisiones Calculadas de CO₂, SO₂, NOx, y, Hg por Estado para los Años 1999, 2001 y 2002.

No de Edo	Estado	Capacidad MW	Generación GWh	CO ₂ Anual (Kt)	SO ₂ Anual (Kt)	NOx Anual (Kt)	Hg Anual (t)	Capacidad MW	Generación GWh	CO ₂ Anual (Kt)	SO ₂ Anual (Kt)	NOx Anual (Kt)	Hg Anual (t)	Capacidad MW	Generación GWh	CO ₂ Anual (Kt)	SO ₂ Anual (Kt)	NOx Anual (Kt)	Hg Anual (t)
		1999						2001						2002					
1	Baja California Norte	830	2871	2017.21	39.55	3.87	0.003	1442.86	4229.96	3015.94	18.43	7.35	0.01	1442.86	4229.96	2402.74	7.12	5.97	0.01
2	Baja California Sur	178	963	436.31	5.49	0.70	0.001	354.89	1246.75	1074.92	11.47	5.34	0.01	354.89	1246.75	1028.15	12.55	4.49	0
3	Campeche	150	900	796.03	17.74	1.01	0.004	164	812.72	938.23	20.91	1.18	0	164	812.72	796.03	17.74	1.01	0
4	Chihuahua	1237	7789	4803.05	60.60	9.30	0.009	1959.86	10358.86	5292.96	59.71	12.32	0.02	1959.86	10358.86	5318.74	51.71	12.85	0.02
5	Coahuila	2600	18251	20648.73	260.89	110.24	0.994	2688	16181.75	14625.71	237.16	99.39	0.81	2688	16181.75	12848.75	206.97	86.35	0.71
6	Colima	1900	11194	7953.68	164.76	15.44	0.012	1900	11483.54	9455.83	206.04	11.96	0.04	1900	11483.54	8384.66	182.45	10.7	0.04
7	DF	148	131.47	60.69	0.10	0.09	0.000	148	131.47	117.57	0	0.33	0	148	131.47	99.47	0	0.28	0
8	Durango	520	3431	2337.32	36.01	4.52	0.004	615	3267.57	2442.56	42.56	4.1	0.01	615	3267.57	2276	36.19	4.02	0.01
9	Guanajuato	866	5892	4186.75	86.73	8.13	0.006	866	4841.38	4085.27	84.48	5.85	0.02	866	4841.38	3762.23	83.02	5.39	0.02
10	Guerrero	2100	11234	761.26	177.18	1.48	0.010	2143	13925.87	9350.72	176.17	21.08	0.16	2143	13925.87	8302.23	113.41	31.24	0.31
11	Hidalgo	1982	13132	8636.35	143.44	16.75	0.015	1989	12995.11	9413.5	163.17	16.07	0.04	1989	12995.11	8719.34	158.33	15.04	0.04
12	Jalisco	0	0	0.00	0.00	0.00	0.000	24	29.11	1.88	0.01	0.01	0	24	29.11	28.39	0.04	0.11	0
13	México	1200	5159	3726.30	75.40	7.19	0.006	1449.3	5791.75	3416.6	0.02	5.52	0.01	1449.3	5791.75	2746.66	0.01	4.51	0.01
14	Nuevo León	983	5583	3402.46	46.58	6.57	0.006	1593.548	6736.32	5778.91	30.43	13.31	0.02	1593.548	6736.32	3977.5	26.86	8.7	0.01
15	Querétaro	340	1647	959.43	1.41	1.76	0.003	469	2866.11	1177.72	0.02	3.33	0	469	2866.11	1433.03	0.18	4.18	0
16	Quintana Roo	190	105	230.86	0.37	0.35	0.001	257.87	116.44	67.28	0.24	0.38	0	257.87	116.44	129.82	0.47	0.73	0
17	San Luis Potosí	700	3862	2616.14	54.19	5.08	0.004	700	2925.99	3812.77	80.25	4.88	0.02	700	2925.99	2175.63	45.73	2.88	0.01
18	Sinaloa	976	5476	3900.59	80.61	7.57	0.006	1006	5298.22	4317.66	101.86	7.3	0.02	1006	5298.22	4115.41	97.35	6.93	0.02
19	Sonora	1116	6468	4875.06	98.30	9.40	0.008	1388.99	6361.52	5345.95	118.49	8.44	0.02	1388.99	6361.52	4984.18	108.48	8.39	0.02
20	Tamaulipas	1320	7412	4978.89	103.10	9.66	0.007	1344.12	7439.78	6367.91	116.12	11.85	0.03	1344.12	7439.78	6201.2	110.89	12.03	0.02
21	Veracruz	2769	27474	11963.48	224.76	23.21	0.019	2669	18113.62	12391.31	261.04	20.67	0.05	2669	18113.62	12524.98	266.2	20.73	0.05
22	Yucatán	564	2451	1601.35	23.73	3.09	0.003	504	3281.75	2009.37	28.36	3.76	0.01	504	3281.75	2226.8	31.87	4.22	0.01
TOTAL		22669	141426.97	90095.88	1683.20	244.38	1.117	25676.438	138435.59	104501	1756.94	264.43	1.2951	25676.438	138435.59	94481.95	1557.58	250.76	1.31

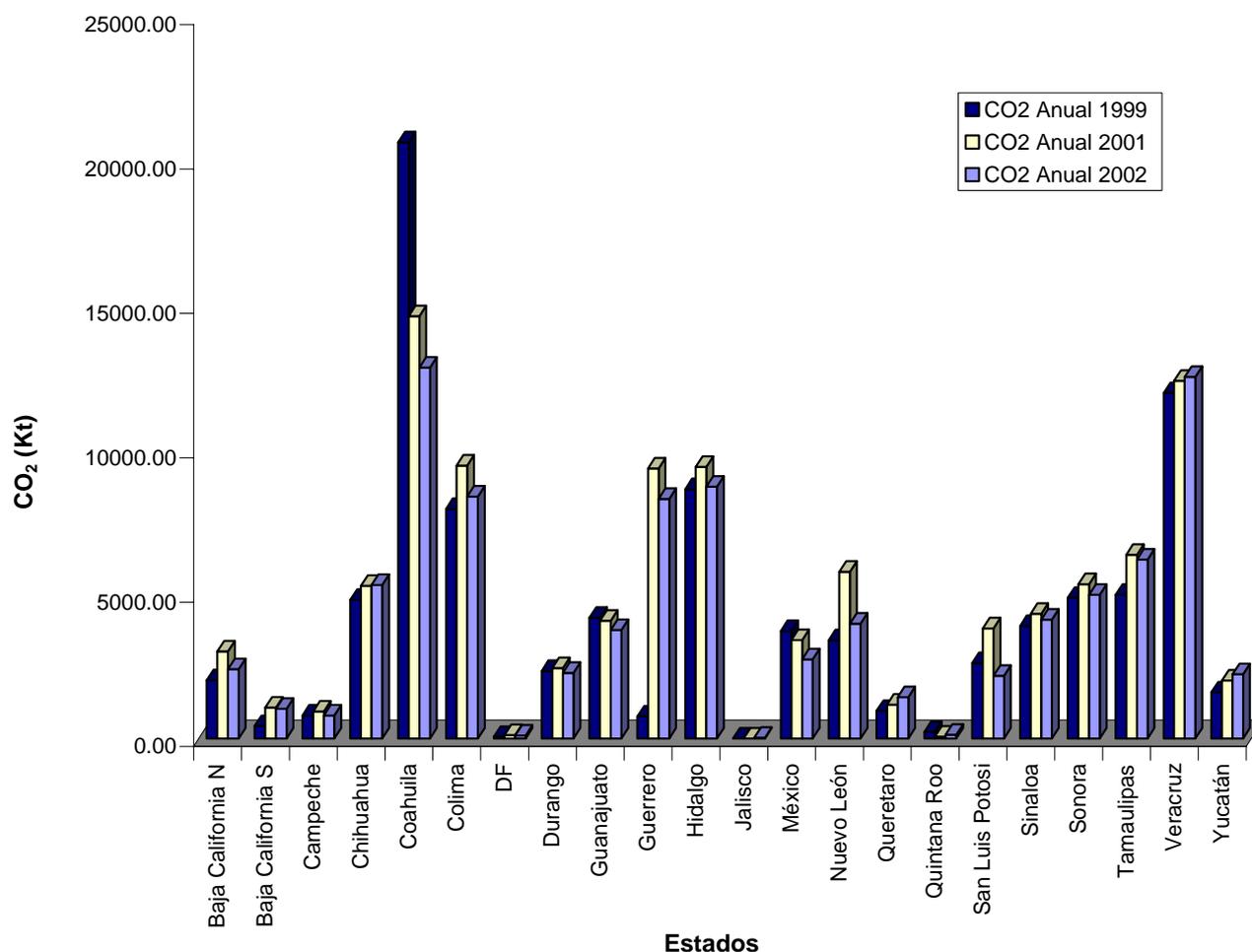
Nota: Del total de 32 entidades federativas, diez no están incluidas debido a su nula contribución a las emisiones.

Fuente: SENER (2003), CFE (2003), Vijay (2004)



Gráfica 7. Emisiones totales (CO₂, SO₂, NO_x, Hg) para 1999, 2001 y 2002 para el sector de energía eléctrica.

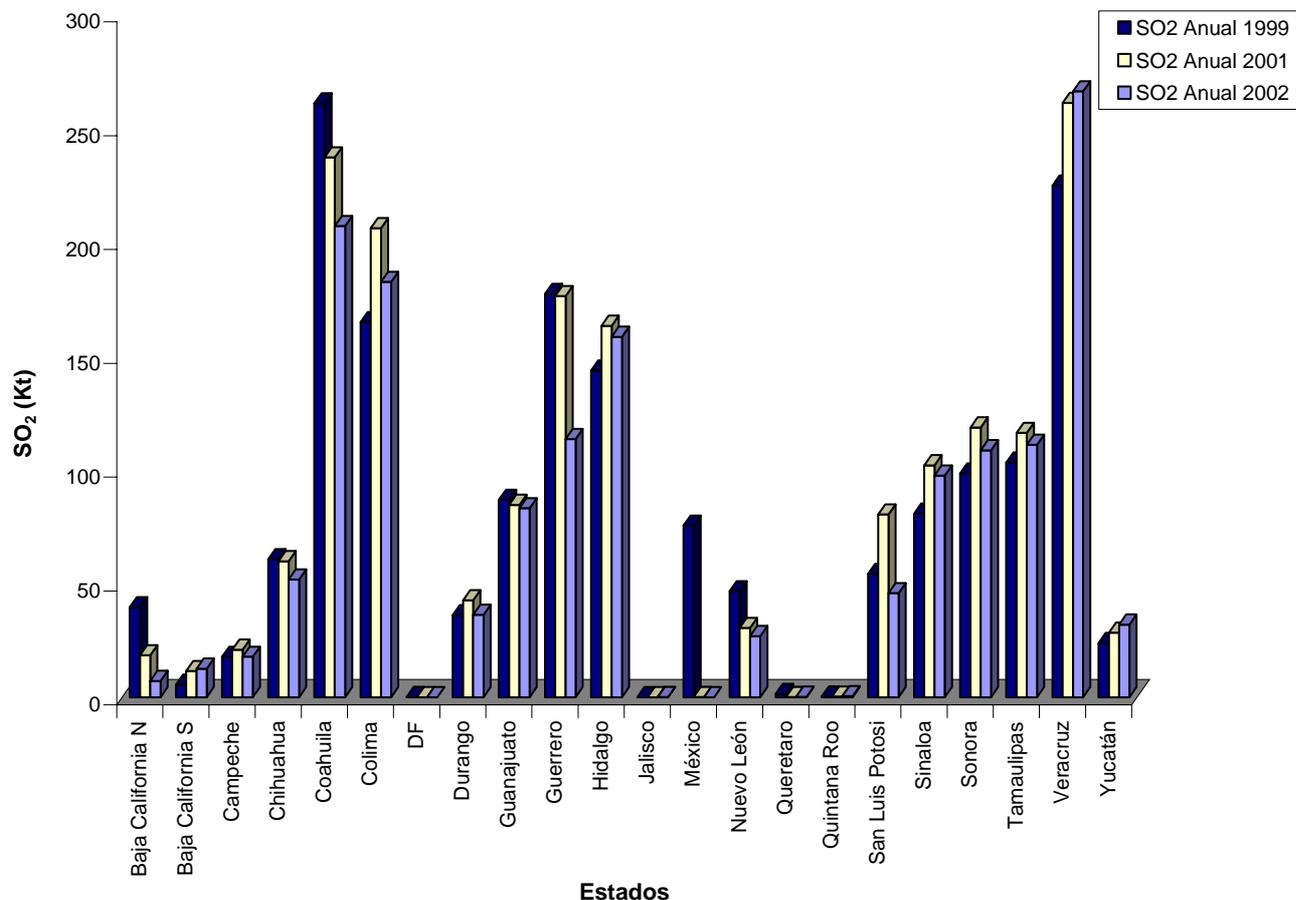
Las emisiones de CO₂ de varias centrales eléctricas aparecen con mayor prominencia en varios Estados del país (Coahuila, Veracruz, Hidalgo, Colima y Guerrero) en comparación con otros contaminantes. Esto obedece a diversos factores. En primer lugar, todos los combustibles fósiles producen emisiones de CO₂ cuando se queman porque contienen carbono. En segundo lugar, no hay sistemas de control de contaminación de uso rutinario que capten las moléculas de CO₂ a medida que van saliendo de la chimenea de una central eléctrica. Coahuila y Veracruz son los principales estados con mayores emisiones de CO₂, con las centrales Carbón II y José López Portillo de 1400 y 1200 MW de capacidad respectivamente y a base de carbón en Coahuila y la A. López Mateos (Tuxpan) de 2100 MW utilizando petróleo como combustible en Veracruz. En la Gráfica 8 se pueden observar las tendencias de las emisiones de este gas para los años 1999, 2001 y 2002.



Gráfica 8. Emisiones de CO₂ para 1999, 2001 y 2002 en el sector de energía eléctrica

Para el dióxido de azufre (SO₂), 16 de 82 centrales evaluadas produjeron 90% de las emisiones, con emisiones anuales que van desde 253,430 a 29,196 toneladas correspondientes a 2002 (ver Apéndice 1). Los dos principales emisores de dióxido de azufre son plantas a base de combustión de petróleo en los estados de Veracruz e Hidalgo. Por otra parte también se cuenta con dos grandes centrales carboeléctricas “Río Escondido (1,200 MW), también conocida como Carbón I o José López Portillo, y Carbón II (1,400 MW)”, en el estado de Coahuila, colindante con el estado de Texas.

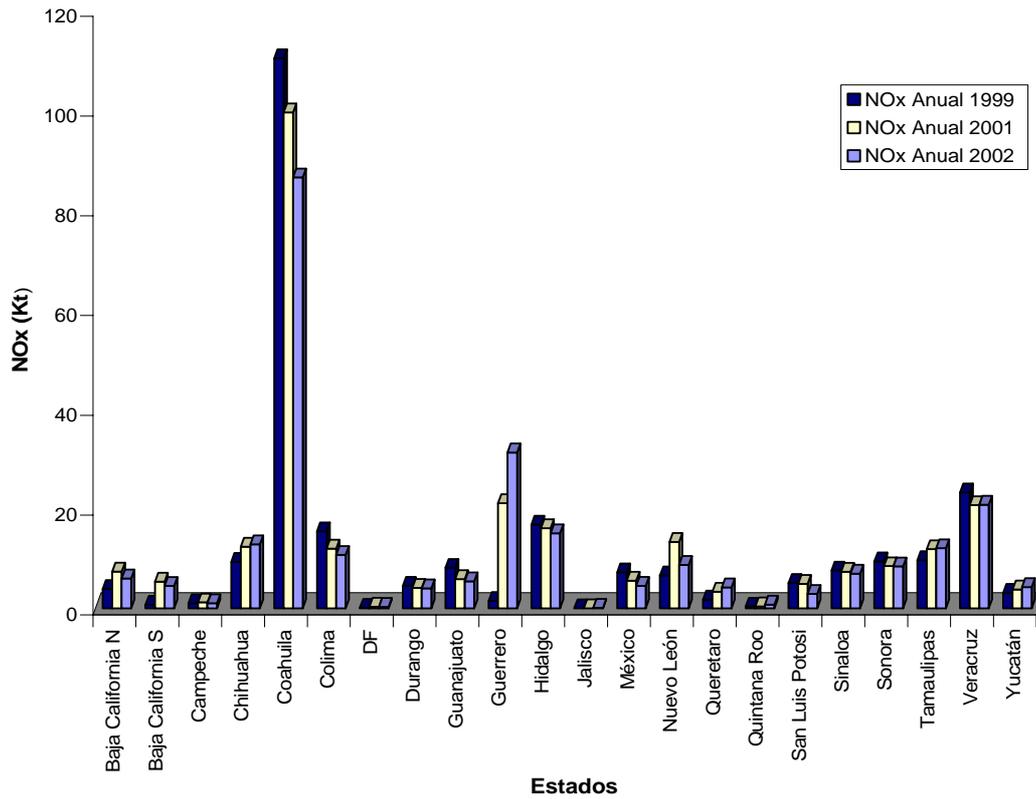
México agregó una tercera central carboeléctrica a su generación combinada nacional en 2001 cuando convirtió 1,050 MW de la central eléctrica Petacalco, a 2,100 MW, pasando de petróleo a carbón (convirtiendo otros 700 MW en el 2003). Esta central está ubicada en el sur del estado de Guerrero, en la costa del Pacífico mexicano, e importa carbón de Asia y Australia (Gráfica 9).



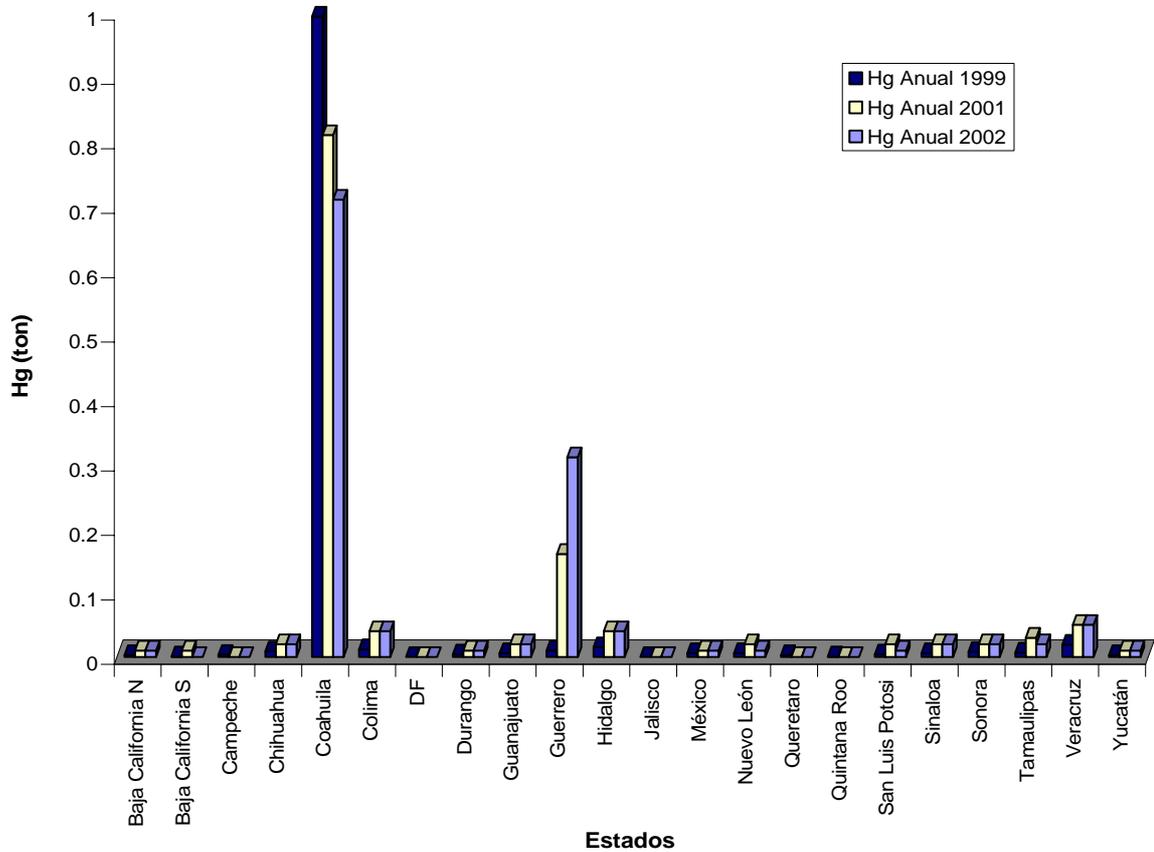
Gráfica 9. Emisiones de SO₂ para 1999, 2001 y 2002 en el sector de energía eléctrica

Los factores que influyen en la cantidad de NO_x producida por las centrales eléctricas incluyen la cantidad de nitrógeno en el combustible, la cantidad de aire excedente (que es 78% nitrógeno), la temperatura de combustión del aire y el nivel de control de NO_x posterior a la combustión. En México hay 81 centrales que se calcula que producen de 13 a 45,932 toneladas de NO_x. Como se mencionó anteriormente, las tres carboeléctricas mexicanas (dos en Coahuila y una en Guerrero) también son los tres principales emisores de contaminación por NO_x del sector eléctrico (Gráfica 10).

Las centrales carboeléctricas constituyen la principal fuente industrial de emisiones de mercurio atmosférico. El petróleo y el gas natural contienen concentraciones relativamente pequeñas de mercurio, dependiendo de su origen, y no se consideran fuentes importantes de mercurio en este momento. En México sólo tres centrales eléctricas funcionaron a base de carbón en México en 2002. Estas centrales (Carbón II, Río Escondido y Petacalco) fueron responsables del 3% de las emisiones atmosféricas de mercurio (Acosta, 2001) (Gráfica 11).



Gráfica 10. Emisiones de NOx para 1999, 2001 y 2002 en el sector de energía eléctrica



Gráfica 11. Emisiones de Hg para 1999, 2001 y 2002 en el sector de energía eléctrica

En la tabla 14 se presenta una perspectiva de la contaminación por emisiones de acuerdo al aumento de la capacidad de generación de electricidad para el año 2007. Para lo cual se estimó un inventario de referencia para los cuatro contaminantes (CO₂, SO₂, NO_x y Hg). Tomando dos casos, límite alto y bajo que estiman las emisiones futuras para el 2007 asociados con los cambios de capacidad de electricidad contenidos en la base de datos NEWGen Datos de Recurso Internacional (RDI/Platts, 2001). Esta base (NEWGen) incluye todas las plantas mercantiles potenciales, proyectos de energía independiente, con contratos para la puesta en marcha, adiciones de capacidad a las plantas ya construidas, capacidad de retorno de fuera de línea, y re-proporción de capacidad existente. Así como también detalles como el sitio propuesto, la capacidad total planeada, la tecnología empleada, combustibles primarios y secundarios, y proyectos a la fecha (Miller *et al*, 2001). Esta información ha sido complementada de dos dependencias federales en México, la CRE y la CFE. Y con esta información se han realizado las estimaciones en los planes anunciados para los cambios de capacidad en un futuro, en lugar de intentar evaluar empíricamente la capacidad futura usando como supuesto el crecimiento económico u otros factores. Aunque también se tienen que considerar algunas limitaciones, ya que no todos los cambios en la capacidad anunciada ocurrirán, y la base de datos no puede ser tan amplia para América del Norte, y no captura cambios de capacidad planeados que no han sido todavía anunciados. Tampoco proporcionará necesariamente información sobre la reducción de emisiones en las plantas existentes donde ningún cambio de capacidad ocurre. Uno de las áreas más grandes de incertidumbre que usa la base de datos de NEWGen complementado es intentar evaluar la probabilidad de anuncios de sumas de capacidad nueva y llevar a la generación real de electricidad. Para México, el aumento es mayor, ya que se proyecta para el 2007 el doble de la capacidad generada en 1999 (Miller *et al*, 2001).

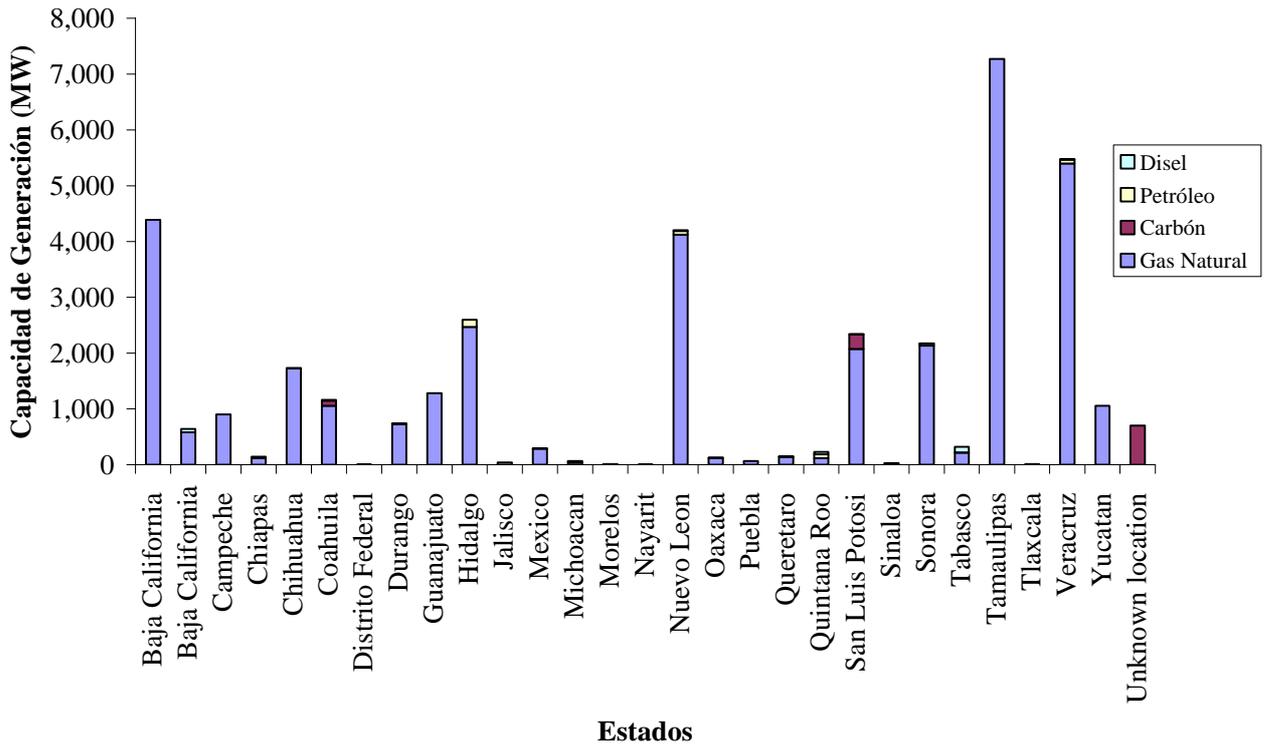
Los cinco estados con la nueva capacidad de generación planeada más grande en el caso del límite alto son, en orden decreciente, Tamaulipas, Veracruz, Baja California, Nuevo León, e Hidalgo. Tamaulipas, Baja California, y Nuevo León son estados norteros que colindan con EUA, lo que podría indicar un interés para el mercado americano. La nueva capacidad en estos estados es principalmente por uso de gas natural, con cantidades pequeñas de petróleo y diesel. El Estado de Guerrero ha impulsado la planta de Petacalco con una generación de 2,100 MW quemando una cantidad desconocida de carbón durante el 2001 y que no se ha incluido en la Tabla 13. También se han reportado 700 MW proyectados por quema de carbón pero en un estado desconocido que aparece en la información gubernamental proporcionada y no se tiene la seguridad de que se trate de la planta de Petacalco (Gráfica 12). En el caso del límite bajo, los cinco estados con los aumentos de capacidad de generación por tipo de combustible fósiles más grandes son, en orden descendente, Nuevo León, Veracruz, Tamaulipas, Baja California, e Hidalgo (Gráfica 13).

Tabla14

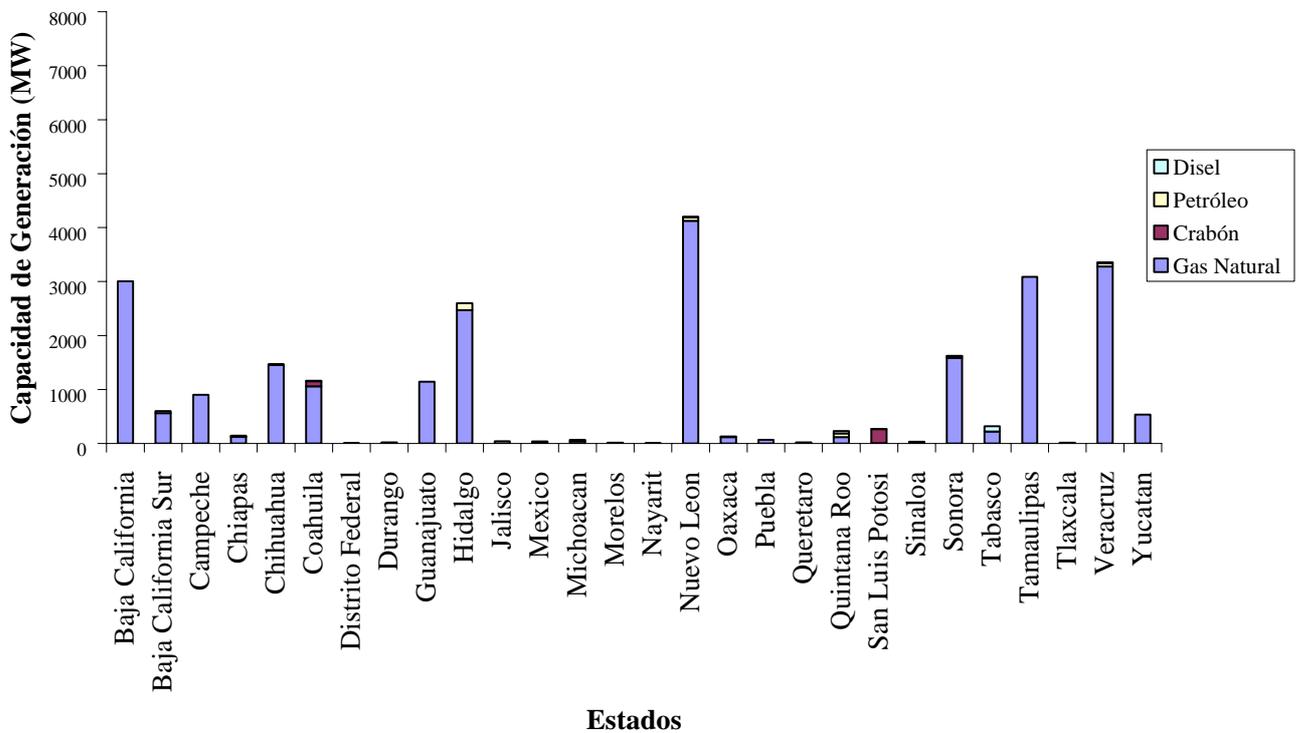
Capacidad de Generación y Emisiones Calculadas de CO₂, SO₂, NO_x, y, Hg para el año 2007. Cambios en los Porcentajes de Emisiones entre lo evaluado en 1999 y lo proyectado para el 2007 en su Limite Alto y Bajo por Entidad Federativa.

No de Edo	Estado	Capacidad MW	CO ₂ Anual (Kt)	SO ₂ Anual (Kt)	NO _x Anual (Kt)	Hg Anual (t)	Capacidad MW	CO ₂ Anual (Kt)	SO ₂ Anual (Kt)	NO _x Anual (Kt)	Hg Anual (t)	CO ₂ %		SO ₂ %		NO _x %		Hg %	
												1999 a 2007	1999 a 2007	1999 a 2007	1999 a 2007	1999 a 2007	1999 a 2007		
2007 LIMITE ALTO							2007 LIMITE BAJO					ALTO	BAJO	ALTO	BAJO	ALTO	BAJO	ALTO	BAJO
1	Baja California	4387	6988.95	0.04	20.33	0.016	3005	5151.90	0.03	14.99	0.012	346	255	0	0	526	388	511	377
2	Baja California Sur	640	1529.48	0.80	4.01	0.008	600	1436.33	0.54	3.88	0.006	351	329	15	10	569	551	780	621
3	Campeche	901	548.58	0.01	1.59	0.001	901	548.58	0.01	1.59	0.001	---	---	---	---	---	---	---	---
4	Chiapas	142	163.16	1.20	0.35	0.001	142	163.16	1.20	0.35	0.001	---	---	---	---	---	---	---	---
5	Chihuahua	1731	1154.19	0.10	3.31	0.003	1463	910.62	0.10	2.60	0.003	24	19	0	0	36	28	34	28
6	Coahuila	1159	1158.95	6.18	5.31	0.011	1159	1158.95	6.18	5.31	0.011	6	6	2	2	5	5	1	1
7	Distrito Federal	4	2.67	0.00	0.01	0	4	2.67	0.00	0.01	0	4	5	0	0	8	3	3	3
8	Durango	740	514.21	1.20	1.40	0.002	18	76.76	1.20	0.12	0.001	22	4	3	0	31	8	44	19
9	Guanajuato	1282	2536.26	0.01	7.38	0.006	1143	2452.05	0.01	7.13	0.006	61	59	0	0	91	88	94	91
10	Hidalgo	2597	5879.41	14.12	16.55	0.015	2597	5879.41	14.12	16.55	0.015	68	68	10	10	99	99	101	101
11	Jalisco	40	178.65	4.40	0.35	0.001	40	178.65	4.40	0.35	0.001	---	0	---	0	---	0	---	0
12	México	294	216.58	1.09	0.59	0.001	37	60.86	1.09	0.13	0	6	2	1	1	8	2	11	4
13	Michoacán	67	142.24	2.91	0.30	0.001	67	142.24	2.91	0.30	0.001	---	---	---	---	---	---	---	---
14	Morelos	14	58.43	1.00	0.10	0.001	14	58.43	1.00	0.10	0.001	---	---	---	---	---	---	---	---
15	Nayarit	6	24.40	0.60	0.05	0	6	24.40	0.60	0.05	0	---	---	---	---	---	---	---	---
16	Nuevo León	4200	7314.84	7.18	20.92	0.018	4200	7314.84	7.18	20.92	0.018	229	215	15	15	319	319	287	287
17	Oaxaca	129	129.57	1.48	0.32	0	129	129.57	1.48	0.32	0	---	---	---	---	---	---	---	---
18	Puebla	66	39.75	0.00	0.12	0	66	39.75	0.00	0.12	0	---	---	---	---	---	---	---	---
19	Querétaro	150	136.97	1.31	0.35	0	17	56.39	1.31	0.11	0	14	6	93	93	20	6	17	10
20	Quintana Roo	227	553.87	8.22	1.00	0.005	227	553.87	8.22	1.00	0.005	240	240	2214	2214	290	290	719	719
21	San Luis Potosí	2340	5261.29	17.83	19.36	0.035	270	1382.85	17.81	9.69	0.026	201	53	33	33	381	191	896	665
22	Sinaloa	30	128.19	1.94	0.20	0.001	30	128.19	1.94	0.20	0.001	3	3	2	2	3	3	24	24
23	Sonora	2172	1461.38	4.02	4.08	0.004	1619	1126.32	4.01	3.11	0.003	30	23	4	4	43	33	52	42
24	Tabasco	319	544.94	1.56	0.86	0.008	319	544.94	1.56	0.86	0.008	---	---	---	---	---	---	---	---
25	Tamaulipas	7271	14870.79	0.08	43.26	0.034	3087	6189.16	0.03	18.01	0.014	299	124	0	0	448	186	465	193
26	Tlaxcala	12	7.17	0.00	0.02	0	12	7.17	0.00	0.02	0	---	---	---	---	---	---	---	---
27	Veracruz	5474	10981.29	7.38	31.59	0.027	3352	6159.93	7.35	17.57	0.016	92	51	3	3	136	76	140	82
28	Yucatán	1056	2398.19	0.01	6.98	0.006	532	1207.61	0.01	3.51	0.003	150	75	0	0	226	114	190	96
29	Localidad desconocida	700	3640.85	46.05	25.91	0.069	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
TOTAL		38150	68565.22	130.71	216.57	0.275	25055	68565.22	130.71	216.57	0.275	76	48	8	5	89	53	25	14

Nota: Del total de 32 entidades federativas, cuatro (Aguascalientes, Colima, Guerrero y Zacatecas) no están incluidas debido a su nula contribución a las emisiones. Fuente: Miller et al (2001)



Gráfica 12. Cambios en la capacidad de generación de electricidad por combustible para el año 2007 Límite Alto

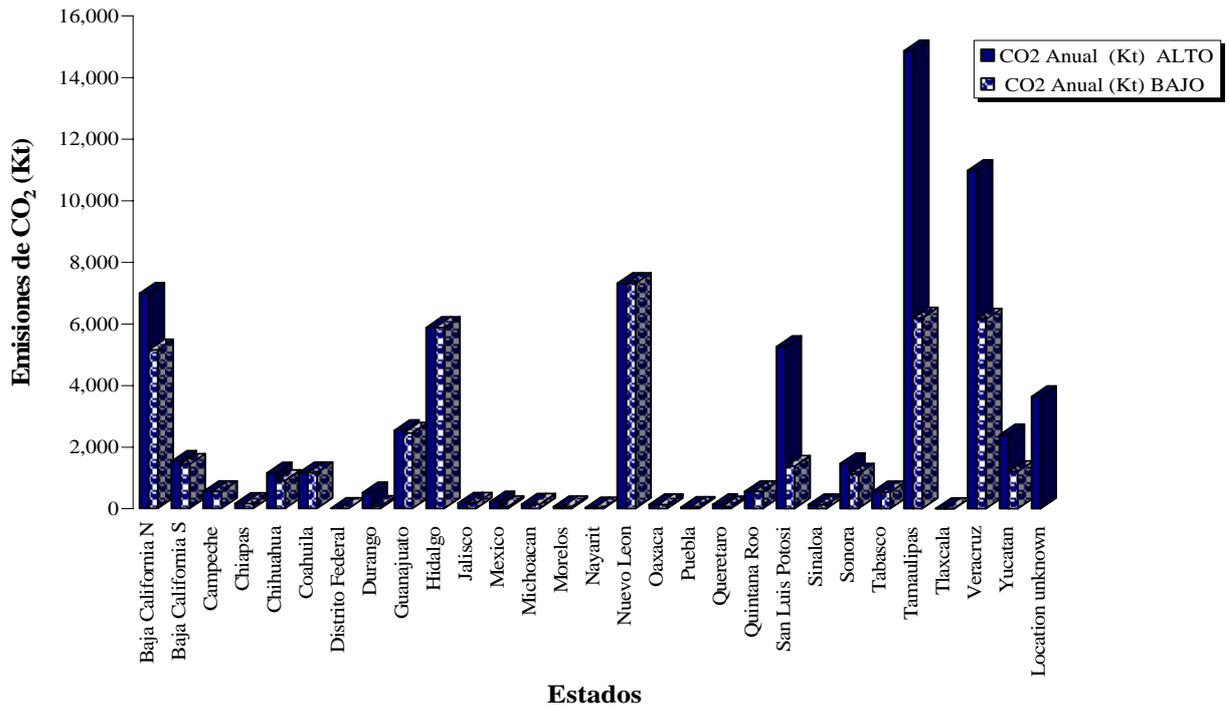


Gráfica 13. Cambios en la capacidad de generación de electricidad por combustible para el año 2007 Límite Bajo

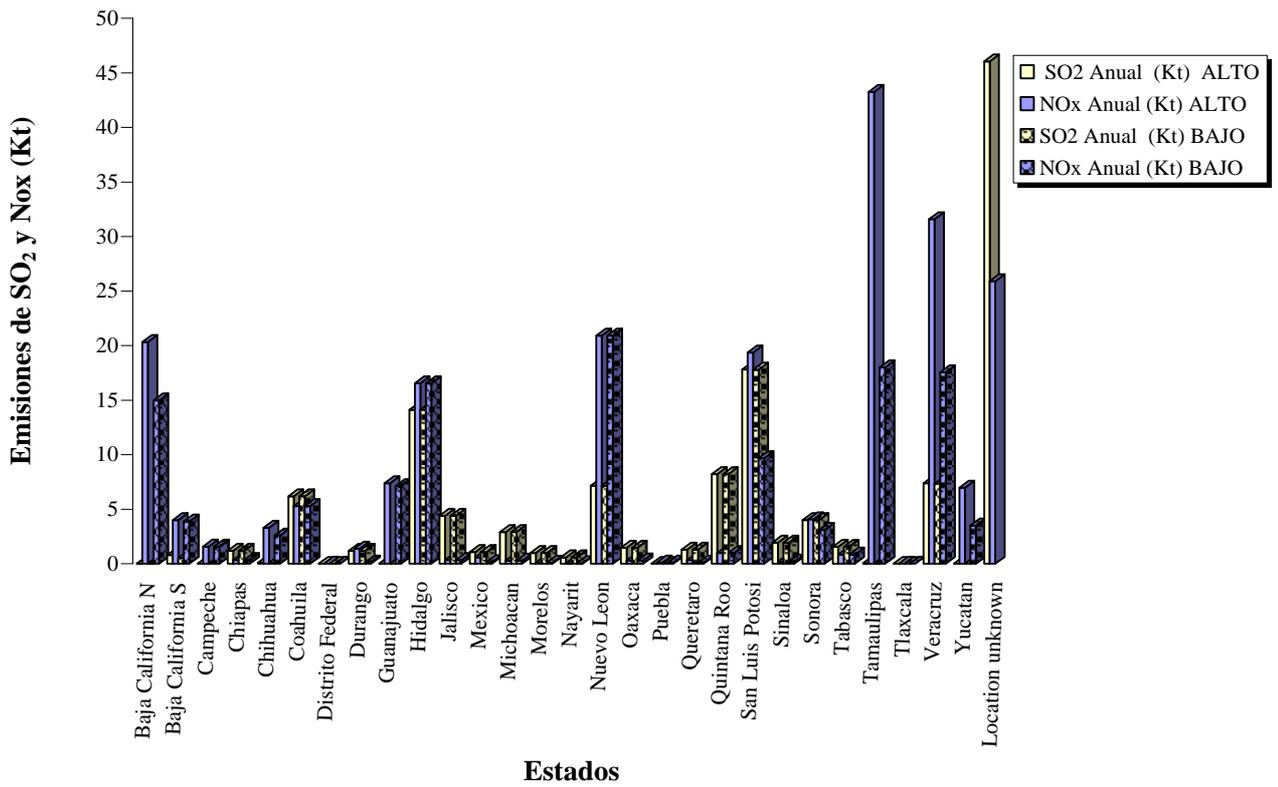
En cuanto a los contaminantes en el caso del límite alto, los cinco estados con las más grandes emisiones potenciales de CO₂ para las nuevas sumas de capacidad generada por combustibles fósiles son, en orden decreciente, Tamaulipas, Veracruz, Nuevo León, Baja California, e Hidalgo (Gráfica 14a). Los cinco estados con altas emisiones de SO₂ son San Luís Potosí, Hidalgo, Quintana Roo, Veracruz, y Nuevo León (gráfica 14b). Para NO_x, los cinco más altos son Tamaulipas, Veracruz, San Luís Potosí, Nuevo León, y Baja California (Gráfica 14b). Para el mercurio, San Luís Potosí, Tamaulipas, Veracruz, Nuevo León, y Baja California (Gráfica 14c).

La presencia de San Luís Potosí en tres de las cuatro categorías de contaminantes son debidas al proyecto de una planta de 260 MW, planta de carbón que es relativamente más contaminante que lo proyectos de gas natural. El ingreso de “la Localidad desconocida” corresponde a una planta individual de 700 MW, con carbón como combustible. Esta planta ocupa el séptimo sitio en emisiones de CO₂, primero en SO₂ y mercurio, y tercero en NO_x entre los estados, por lo que alteraría las clasificaciones jerárquicas presentadas, probablemente, si se conociera su localización.

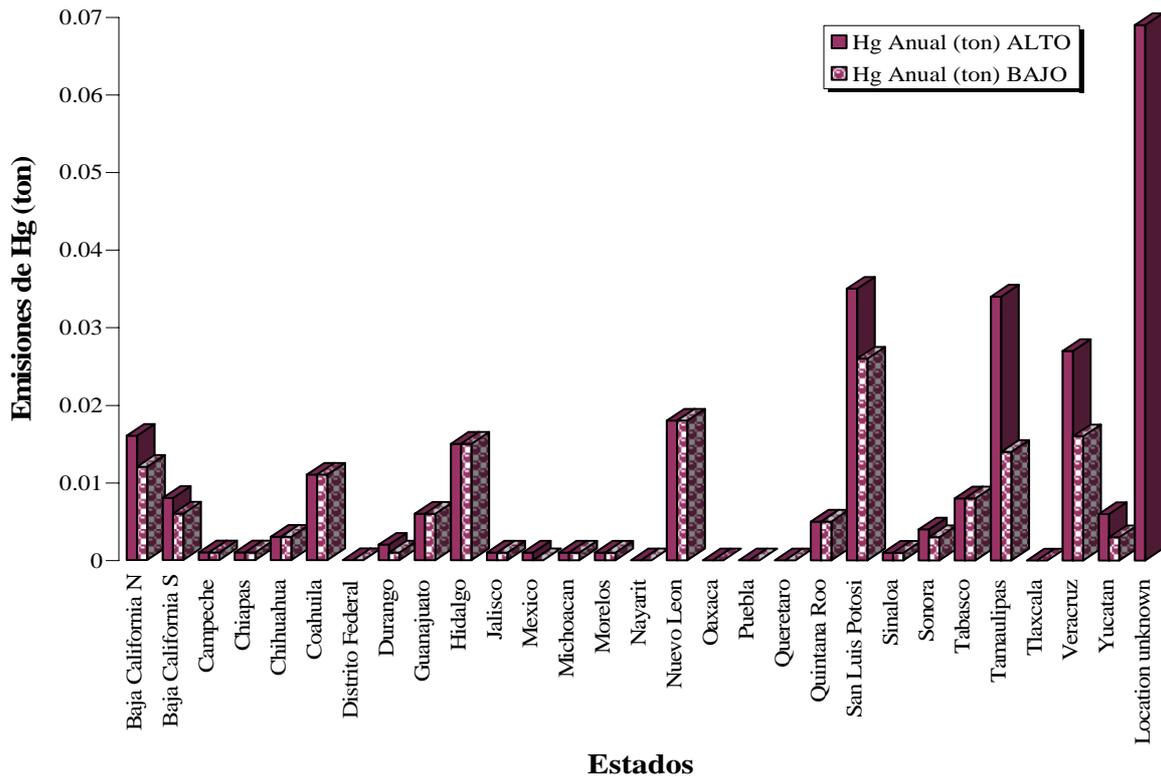
El caso del límite bajo, los primeros cinco estados con las emisiones de CO₂ más altas asociado con nuevas sumas de capacidad son, en orden descendente, Nuevo León, Tamaulipas, Veracruz, Hidalgo, y Baja California. Para emisiones de SO₂, los primeros cinco son San Luís Potosí, Hidalgo, Quintana Roo, Veracruz, y Nuevo León. Para emisiones de NO_x, los estados son Nuevo León, Tamaulipas, Veracruz, Hidalgo, y Baja California. Para el mercurio, son San Luís Potosí, Nuevo León, Veracruz, Hidalgo, y Tamaulipas (Gráfica 14a, b, y c).



Gráfica 14^a. Emisiones de CO₂ para el año 2007 Limite Alto y Bajo

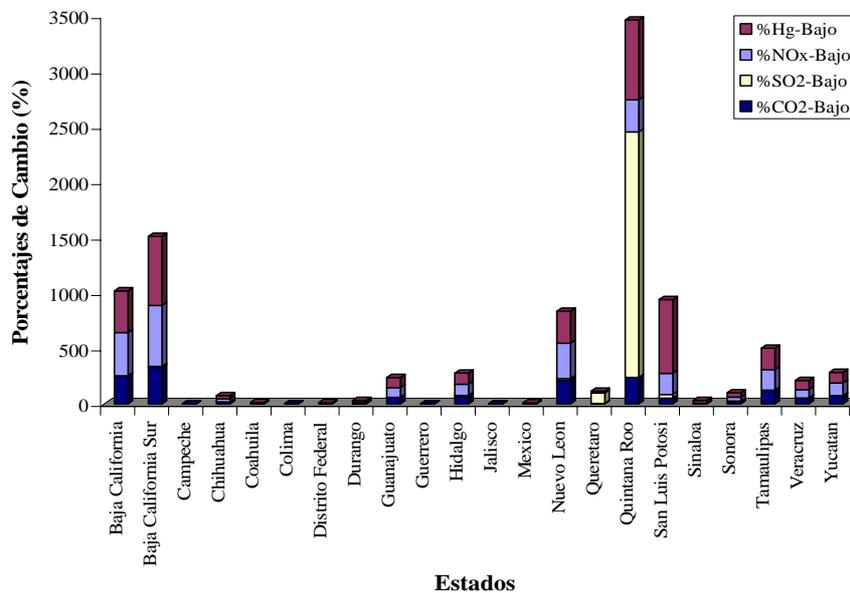
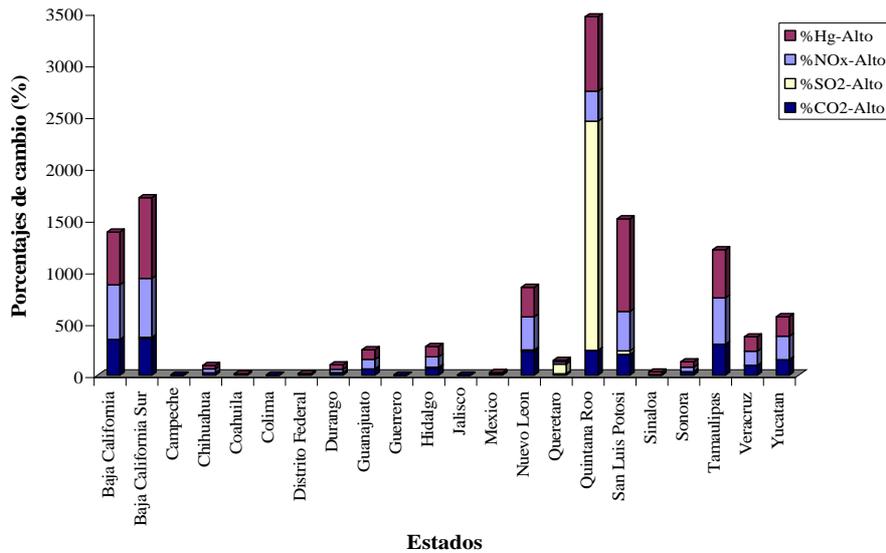


Gráfica 14^b. Emisiones de SO₂ y NOx para el año 2007 Limite Alto y Bajo



Gráfica 14c. Emisiones de para Hg año 2007 Limite Alto y Bajo

En la tabla 14 también se presenta el cambio del porcentaje en emisiones para los diferentes Estados, en los dos casos del límite alto y bajo en referencia al inventario de emisiones 1999 y la perspectiva del 2001 (Gráficas 15 a y b). Esto da una idea de donde algunos de los cambios relativos más grandes en emisiones asociadas con capacidad de la generación planeada pueden ocurrir. Se observó, sin embargo, que algunos de los cambios más grandes en términos de aumentos del porcentaje o disminuciones pueden ocurrir en situaciones con emisiones relativamente bajas en la actualidad, mientras en otras situaciones con cambios de porcentaje relativamente más pequeños podrían tener aumentos absolutos más grandes o disminuciones en emisiones (Miller *et al*, 2001).

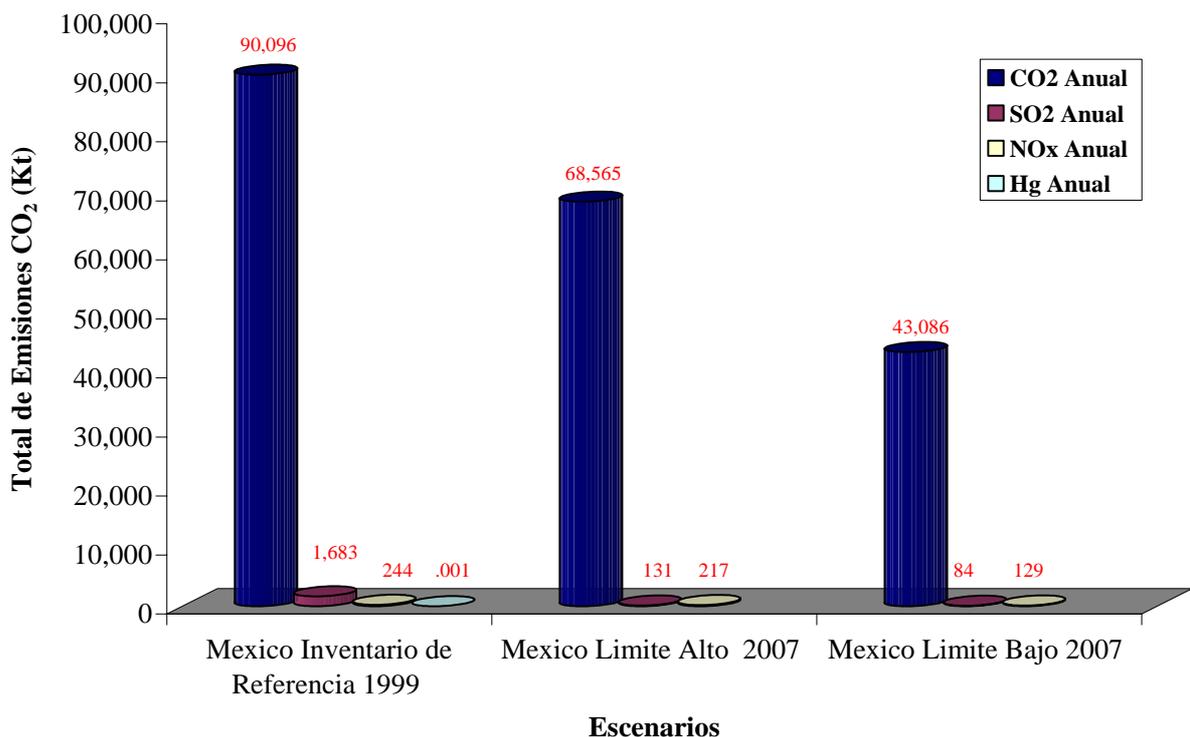


Gráficas 15 a y b. Porcentajes entre los cambios de emisión de contaminantes (CO₂, SO₂, NO_x, Hg) de 1999 y 2007 Limite Alto y Bajo

En la Tabla 15 se presenta un resumen nacional del total de emisiones para los cuatro contaminantes (CO₂, SO₂, NO_x, y Hg) en referencia al inventario de 1999 y la perspectiva de emisiones futuras del 2007 (gráficas 16).

Tabla 15.
Resumen Nacional del Total de Emisiones en referencia al Inventario de 1999 y los límites Alto y Bajo de las proyecciones futuras (porcentaje del inventario de referencia se muestra entre paréntesis) CO₂, SO₂, NO_x y Hg (Kt).

Escenarios	CO ₂ Anual	SO ₂ Anual	NO _x Anual	Hg Anual
México Inventario de Referencia 1999	90,096	1,683	244	1
México Limite Alto 2007	68,565 (+ 76%)	131 (+8%)	217 (+89%)	0.275 (+ 25%)
México Limite Bajo 2007	43,086 (+ 48%)	84 (+ 5%)	129 (+ 53%)	0.153 (+ 14%)



Gráfica 16. Resumen del total de emisiones de CO₂, SO₂, NO_x, Hg en referencia al inventario de 1999 y las proyecciones futuras 2007 Límites Alto y Bajo.

IV.3 EMISIONES POR TIPO DE COMBUSTIBLE

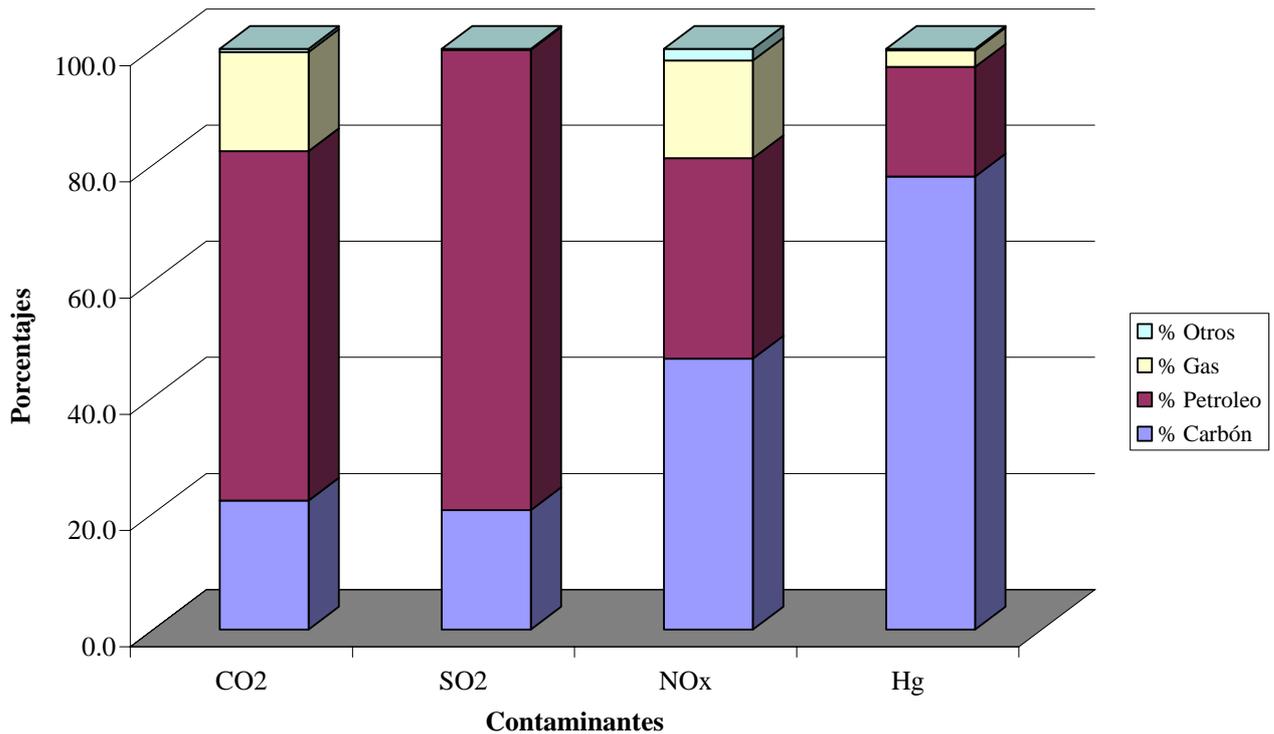
Contar con información sobre emisiones de cada una de las centrales eléctricas permite calcular la contribución relativa de los distintos combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas natural) a la contaminación atmosférica de nuestro país.

En el tabla 16, se muestra el porcentaje de emisiones por combustible, como puede apreciarse el petróleo contribuye de manera importante en la generación de electricidad y por ende de las emisiones debido a que es el combustible predominante en este país, pues produjo alrededor

del 54.2% de la generación nacional en 2002, mientras que la combustión de carbón sólo produjo alrededor de 21.7% y el gas natural un 23.8%. (Miller *et al.* 2004).

Tabla 16				
Resumen de la Generación de Emisiones y de Electricidad por Tipo Combustible para el año 2002 según Miller <i>et al.</i> 2004				
Total de Emisiones por tipo de Combustible (Kt)				
Combustible	CO ₂	SO ₂	NO _x	Hg
Carbón	20990.56	320.15	116.96	1.02
Petróleo	56838.18	1235.06	86.54	0.25
Gas	16125.99	0.48	42.27	0.04
Otros	527.22	1.89	4.99	0.00
TOTAL	94481.95	1557.58	250.76	1.31
Porcentaje de Emisiones por Tipo de Combustible (%)				
Carbón	22.2	20.6	46.6	78.0
Petróleo	60.2	79.3	34.5	18.9
Gas	17.1	0.0	16.9	2.8
Otros	0.6	0.1	2.0	0.3
	100	100	100	100
Generación Total de Electricidad por tipo de Combustible (GWh)				
Combustible	Generación			
Carbón	30031.38			
Petróleo	74977.4			
Gas	32968.07			
Otros	458.74			
TOTAL	138435.59			
Porcentaje de Generación por Tipo de Combustible				
Carbón	21.7			
Petróleo	54.2			
Gas	23.8			
Otros	0.3			
	100			

En cuanto a la producción de emisiones podemos observar que nuevamente el petróleo, es el combustible fósil que emite un mayor número de emisiones, produciendo un 79.3% de SO₂, 60.2% de CO₂, 34.5% de NO_x y 16.9% de Hg. El carbón es el segundo combustible fósil que emite un mayor porcentaje de contaminantes produciendo altas cantidades de Mercurio (78%), seguido por los NO_x con un 46.6% Gráfica 17.

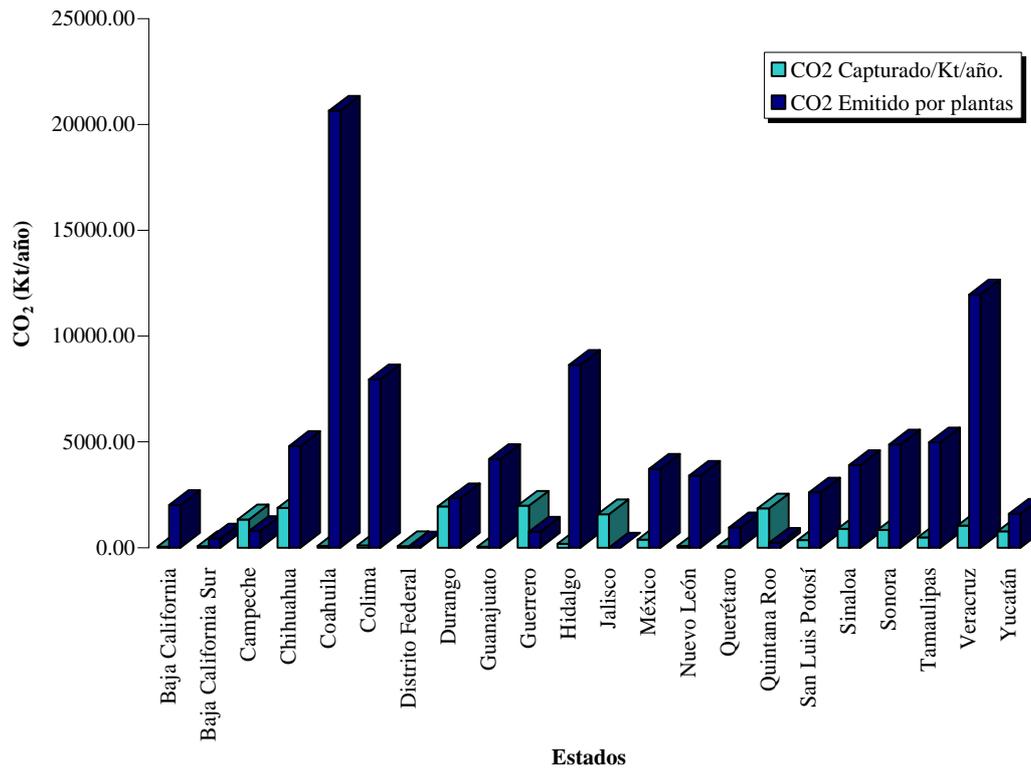


Gráfica 17. Porcentajes de contaminantes por combustible para la generación de energía eléctrica para el año 2002

En México para el año 2002, el petróleo fue el combustible más requerido, utilizándose en 15 de 22 estados; el gas natural es el segundo combustible más utilizado en 13 de 22 estados; pero en cuatro estados Distrito Federal, Jalisco, México y Querétaro, es el único combustible utilizable. Para el Carbón, solo Coahuila y Guerrero utilizan este combustible fósil.

Finalmente hemos realizado una comparación entre el potencial de captura de carbono por entidad federativa (tabla 5 Cap. 2) y el CO₂ emitido por las plantas de generación de energía eléctrica que utilizan combustible fósil de acuerdo a los datos presentados en la tabla 13 para el año 1999.

En la Gráfica 18 podemos observar que Guerrero, Quintana Roo, Jalisco y Campeche, son los estados que capturan más CO₂ que la que emite la generación de energía eléctrica. Por otro lado Coahuila, Veracruz, Hidalgo, Colima y Chihuahua, son los 5 estados con mayores emisiones de CO₂, siendo Veracruz y Chihuahua los que tienen una mayor captura de CO₂ en relación al CO₂ emitido. Durango se observa como el estado que presenta un potencial de captura (1946.57 Kt/año) no muy por debajo del CO₂ emitido (2337.32 Kt/año) por la generación de electricidad.



Gráfica 18. Relación del carbono capturado por Kt/año y el CO₂ emitido por generación de energía eléctrica que utilizan combustibles fósiles para los 22 estados evaluados en 1999

Se piensa que la generación termoeléctrica a base de combustibles fósiles desempeñará un importante papel en el sector eléctrico mexicano en el futuro. El inventario de emisiones para los principales contaminantes (CO₂, SO₂, NO_x y Hg) debe constituir una herramienta muy importante para el diseño de programas destinados a reducir la contaminación atmosférica ocasionada por la generación de energía eléctrica en México.

También se ha reconocido que el inventario de emisiones se puede mejorar incorporando información más completa sobre la composición de los combustibles, en particular del carbón, y obteniendo datos del equipo instalado de medición continua de emisiones.

Esto ayudara a establecer un punto de partida para medir el futuro desempeño ambiental a medida que la creciente competencia en el sector eléctrico produce cambios en la generación de electricidad en las entidades del país.

CAPITULO V. LA GESTIÓN AMBIENTAL EN EL SECTOR ELÉCTRICO

En este último capítulo se hace referencia a los principales impactos que tiene el sector eléctrico sobre el medio ambiente y su regulación a través de la legislación ambiental mexicana vigente, enfocado principalmente en la Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) como un instrumento de la política ambiental, analítico y de alcance preventivo.

Todas las formas de generación de electricidad a gran escala afectan algún elemento del medio ambiente. La mayor parte de las emisiones de contaminantes atmosféricos del sector proceden de las centrales que utilizan carbón o petróleo como combustible, aunque las plantas que operan a base de gas natural emiten una gran cantidad de CO₂. Las grandes centrales hidroeléctricas pueden desplazar comunidades enteras, destruir o degradar hábitat crítico (como arroyos o ríos) y dañar a las poblaciones nativas de especies silvestres y de peces. Las plantas nucleares representan riesgos de seguridad y salud en virtud de su operación, así como del transporte y almacenamiento del combustible usado. Incluso las instalaciones de energía eólica, dependiendo de su ubicación y de la tecnología empleada, pueden plantear cuestiones estéticas o de preocupación en relación con las aves silvestres (Sharp, 2002).

Determinar el impacto ambiental de las distintas formas de generación de electricidad ha resultado ser una tarea por demás desafiante, dada las dificultades de cuantificar los efectos en el medio ambiente de las diversas fuentes y tecnologías a lo largo de su ciclo de vida.

Los impactos ambientales asociados con las formas más convencionales de generación de electricidad con frecuencia no se limitan a las inmediaciones del lugar donde operan. La capacidad de transporte a distancias medianas y largas de los contaminantes emitidos por las centrales eléctricas (ozono de bajo nivel y sus precursores, sobre todo NO_x), contaminación ácida, partículas y Hg, por nombrar algunos) ha sido bien documentada (CCA, 1997). También los contaminantes orgánicos persistentes pueden viajar miles de kilómetros, transportados por las corrientes de aire, desde su lugar de origen antes de depositarse e incorporarse en la cadena alimenticia de comunidades distantes. Otras emisiones, por ejemplo el CO₂ y los gases agotadores del ozono estratosférico, son de preocupación global no importa en dónde se originen. Las centrales eléctricas pueden incluso generar efectos negativos en la vida silvestre lejos del sitio de la actividad, afectando especialmente a especies migratorias que dependen de corredores y ecosistemas especializados en múltiples regiones (Sharp, 2002).

En nuestro país a nivel constitucional, la generación de energía eléctrica se encuentra regulada en el artículo 27, párrafo sexto, el cual enuncia:

“Corresponde exclusivamente a la nación generar, conducir, transformar, distribuir y abastecer energía eléctrica que tenga por objeto la prestación de servicio público. En esta materia no se otorgarán concesiones a los particulares y la nación aprovechará los bienes y recursos naturales que se requieran para dichos fines.”

En este sentido, el propio artículo 27 constitucional, en su párrafo cuarto, prescribe el aprovechamiento racional de los recursos naturales e impone al Estado el deber de adoptar las medidas necesarias para evitar su destrucción.

V.1 PRINCIPALES IMPACTOS SOBRE EL MEDIO AMBIENTE DEL SECTOR ELECTRICO

Las instalaciones de plantas eléctricas pueden provocar efectos activos en el medio. Los efectos activos se refieren al deterioro que una obra provoca en el ambiente; sin embargo, dentro de estos también se pueden mencionar las obras que tienen por objeto prevenir, mitigar o restaurar daños que ocasione. Como contraparte, hay efectos pasivos, que son aquellos que el ambiente provoca en las obras, como su deterioro, generalmente, durante su vida útil. Algunos efectos pasivos pueden ser consecuencia de otras actividades humanas. (Soberanes *et al*, 1997).

Los efectos activos provocados por las obras que deterioran el ambiente son el ruido, humos, polvos, destrucción física de flora y fauna, nivelaciones, desechos, pérdida de nivel freático, disminución o pérdida de la recarga de acuíferos, su sobreexplotación, etcétera. Estos efectos deben ser identificados y evaluados desde la etapa de planeación, lo cual tiene por objeto cuantificar los costos externos de una obra. Dichos costos o externalidades son aquellos que tarde o temprano tendrá que pagar la sociedad, en su conjunto, como consecuencia de los efectos adversos que provoca la obra en el medio. Las externalidades pueden ser la afectación del paisaje, disminuir o cancelar su atractivo turístico; los efectos en la producción agrícola o en los acuíferos y cuerpos de agua superficiales; pérdida de tierras cultivables o bosques. Algunos de ellos pueden estimarse en términos monetarios (pérdidas de cosechas o tierras cultivables).

Durante la planeación, y en la etapa de selección del sitio o trayectoria de la obra, cada alternativa debe estimar los costos directos que ocasione más los de las externalidades para escoger aquella opción cuya relación beneficio/costo sea óptima. Suele ocurrir que en un sitio (o una trayectoria) los costos directos sean menores que para otros y, sin embargo, las externalidades sean más elevadas que en estos últimos. Al sumar los costos directos más las externalidades se tiene la visión completa del problema y se puede elegir el sitio (o trayectoria) más apropiado en términos ambientales, sociales y económicos a mediano y largo plazo (Soberanes *et al*, 1997).

Una vez elegido el sitio o trayectoria de la obra, en su etapa de diseño, deben incorporarse al proyecto las medidas de prevención, mitigación y restauración de los impactos ambientales identificados y evaluados durante la planeación. Por ejemplo, si la obra interrumpe el escurrimiento de agua natural a un estero o laguna, se pueden tomar en cuenta sifones o alcantarillas en el proyecto para que ello no ocurra.

En obras de carreteras o proyectos lineales en general, hay ocasiones en que comunidades de animales quedan aisladas de los lugares donde se alimentan, cazan o abreven. Para éstas, se pueden hacer obras que les permitan pasar de un lado a otro de la carretera; una alcantarilla sería suficiente. Si se trata de animales mayores, se podrían relocalizar o considerar la señalización adecuada en algunos tramos de la carretera, junto con otras medidas, para que crucen los caminos sin poner en peligro a los usuarios y a ellos mismos.

Los efectos adversos al ambiente pueden ocurrir durante varias etapas: a) ejecución de estudios previos; b) construcción, y c) operación (o vida útil de la obra). Por otra parte, también en la ejecución de los estudios previos se pueden producir alteraciones en el ambiente por apertura de brechas, ejecución de sondeos y excavación de socavones, desechos del personal y de los equipos, interacción con la comunidad, acciones de caza y pesca del personal, etcétera. La mayoría de los impactos producidos en esta etapa se pueden prevenir y mitigar. Por ejemplo, para abrir brechas es posible aprovechar los senderos existentes, hacerlas del mínimo ancho posible, y evitar la tala sin sentido de vegetación nativa y de especies de árboles, en especial, aquellos cuyos individuos sean de lento crecimiento o que tengan muchos años de existencia.

La explotación de bancos de material en tajos a cielo abierto debe diseñarse de tal forma que la restauración de estos sitios sea económica. Por ejemplo, se hace necesario, antes de iniciar la explotación, recoger la cubierta de suelo vegetal y amontonarla en los límites del área, proceder a la explotación y evitar, en lo posible, taludes verticales, que dejan bermas. Si en alguna parte de la obra hay excavación, el material de desecho puede colocarse en los bancos de préstamo ya explotados, y, finalmente, cubrir con el suelo vegetal que se recogió al inicio de los trabajos, y revegetar o reforestar la zona con especies de la región y vigilar su crecimiento, mediante riego o sustitución de los individuos que mueran. La restauración de los bancos de material debe planearse junto con las actividades de construcción. Las posibilidades de solución son muchas y dependen de cada obra en particular.

Finalmente, durante la operación de la obra y en función del tipo de instalación, se provocarán efectos diversos en el ambiente. Generalmente, en esta etapa ocurren los mayores efectos, porque suceden en lapsos de varios decenios. Estos pueden ser emisiones de todo tipo a la atmósfera, al agua, al suelo, interrupción de drenajes naturales, explotación de aguas superficiales o subterráneas, etcétera.

Es posible que ocurran efectos no identificados en la etapa de planeación y diseño, por lo que es necesario el monitoreo ambiental de las obras durante la vida útil. Es importante recalcar que algunas obras de ingeniería pueden dirigirse exclusivamente a prevenir, mitigar o reparar los daños al ambiente, como los rellenos sanitarios, tratamiento de aguas, estabilización de laderas naturales, estanques naturales de contención de desechos tóxicos y obras hidráulicas de protección, entre otros. En general, todas las obras civiles pueden ocasionar efectos adversos y benéficos al medio ambiente, simultáneamente (Soberanes *et al*, 1997).

V 1.2. Efectos Ambientales

Efluentes Energéticos:

En cuanto a los impactos ambientales ocasionados por una planta establecida de acuerdo a su combustible utilizado son diversos. El proceso de producción de energía eléctrica tiene, en general, un rendimiento reducido. Aproximadamente el 65% de la capacidad contenida en el combustible se lanza al ambiente como calor residual. Una parte se pierde en los gases de combustión, pero la mayoría se disipa a través del circuito de refrigeración del condensador. En sistemas de refrigeración abiertos el calor se descarga en forma de agua caliente, en tanto que cuando los circuitos son cerrados con torre de refrigeración de tipo “húmedo”, se produce un penacho de vapor de agua a alta temperatura. Conviene aclarar que, aunque este penacho resulta muy aparatoso, no tiene compuestos contaminantes y su única influencia sobre el medio es la aportación de calor, aparte del impacto visual (Delso, 2001).

El uso de carbones resulta el más complejo de entre los combustibles fósiles. Todo proceso de combustión tiene efectos muy directamente relacionados con la contaminación atmosférica y, en particular el de los carbones, con la producción de residuos sólidos. La combustión ideal de un compuesto constituido sólo por carbono e hidrógeno, quemado con un adecuado exceso de aire y sin reacciones secundarias, únicamente produciría dióxido de carbono (CO₂) y vapor de agua (H₂O), a los que se unirían el oxígeno sobrante y el nitrógeno procedentes del aire. La situación se complica al quemar carbones y otros combustibles fósiles, que originan nuevos productos normalmente indeseables. Desde el punto de vista ambiental, los productos genéricos pueden ser gaseosos, líquidos, sólidos, calor residual, y otras formas de contaminación (residuos industriales, ruidos (Delso, 2001).

Efluentes líquidos:

A diferencia de los otros tipos de contaminación, la que afecta a las aguas es similar en cualquier central térmica, dependiendo sólo de su potencia y de las características del agua de aportación (cauce receptor). Una central necesita importantes cantidades de agua para su operación, especialmente en la refrigeración del condensador. Como resultado se produce gran variedad de corrientes residuales, algunas de forma continua (agua de refrigeración, purgas de caldera, plantas de

tratamiento, extracción de cenizas, efluentes de depuración de gases, etc.), y otros intermitentemente (operaciones de limpieza, efluentes sanitarios, drenajes y escorrentías, etc.) Existen, por su naturaleza, dos tipos de vertidos líquidos en una central:

- Vertidos térmicos: Están asociados al agua de refrigeración y normalmente la única modificación que causan sobre el medio es un aumento de temperatura, aunque en algún caso se trata de aguas que precisan tratamientos de poca entidad antes de ser vertidas.
- Vertidos químicos: Son de variada composición, aunque insignificantes en cantidad comparados con el caudal de agua de refrigeración. Reciben tratamiento convencional (neutralización, clarificación, filtración, etc.) antes de su descarga al medio receptor.

Residuos sólidos:

Sólo son significativos en el caso de combustión de carbones. La formación de escorias del hogar y de cenizas volantes emitidas depende de la calidad del carbón y del sistema de combustión. Aunque pueden tener alguna utilidad industrial (fabricación de hormigones y cementos), las grandes cantidades producidas cuando se queman carbones de baja calidad hacen necesario depositarlas en escombreras y balsas de almacenamiento en minas a cielo abierto, siempre cuidando que la incidencia ambiental de estas instalaciones sea mínima (Delso, 2001).

Otras formas de contaminación vinculadas con las centrales térmicas:

- Residuos sólidos: Son *residuos inertes* (además de las escorias y cenizas ya mencionadas, están los yesos de desulfuración y los residuos procedentes de instalaciones depuradoras de agua), *residuos peligrosos* (aceites, grasas, dieléctricos de transformadores, disolventes, etc.) y otros residuos asimilables a urbanos. Todos ellos se gestionan de acuerdo con los procedimientos autorizados por la normativa ambiental.
- Ruido: Es posible que existan pequeños focos de emisión al exterior en alguna de las operaciones relacionadas con la producción en centrales térmicas.
- Incidencia paisajística: Impacto visual de las instalaciones y sus penachos.

V 1.3. Efectos Climáticos

Calentamiento Global

Los sistemas térmicos clásicos basados en los combustibles fósiles (lignito, carbón, petróleo y gas natural) contribuyen al 99% del calentamiento global provocado por las tecnologías de generación de electricidad. La causa de ello estriba en sus emisiones de dióxido de carbono (CO₂) y metano provocadas durante las fases de transporte y combustión.

Disminución de la Capa de Ozono

El sistema térmico basado en el petróleo es el principal responsable, entre las tecnologías de generación de electricidad, de la disminución de la capa de ozono a causa de sus emisiones de halones y clorofluorocarbonos (CFC), dos sustancias usadas como retardadores de llama y aditivos del combustible.

Lluvia Ácida

Los principales compuestos relacionados con la formación de lluvia ácida son el SO₂ y los NO_x. Dichos compuestos reaccionan en las nubes formando una mezcla de ácido sulfúrico (H₂SO₄) y ácido nítrico (HNO₃), los cuales se precipitan a través de la lluvia y nieve.

En la figura 23 se presentan los principales impactos potenciales sobre el medio ambiente en el Sector Eléctrico.

V.2 LEGISLACIÓN AMBIENTAL MEXICANA

La Constitución Política es la base de las leyes de carácter federal o general. Éstas, a su vez, se regulan a través de uno o más reglamentos para su aplicación en la práctica. Los reglamentos pueden o no requerir normas que son específicas para un grupo limitado de personas con el mismo interés. Así, las leyes y reglamentos son de aplicación general, mientras que las normas son de aplicación específica. A continuación, se hará una presentación en orden jerárquico de la legislación ambiental mexicana.

V.2.1 Bases Constitucionales:

Los fundamentos constitucionales en materia ambiental los podemos encontrar en los siguientes artículos:

- Artículo 4º, 4to párrafo: “Toda persona tiene derecho a un medio ambiente adecuado para su desarrollo y bienestar”.
- Artículo 25, 1er párrafo: “Corresponde al Estado la rectoría del desarrollo nacional para garantizar que éste sea integral y sustentable, ...”
6to Párrafo: “Bajo criterios de equidad social y productividad se apoyará e impulsará a las empresas de los sectores social y privado de la economía, sujetándolos a las modalidades que dicte el interés público y al uso, en beneficio general, de los recursos productivos, cuidando su conservación y el medio ambiente”.
- Artículo 27, 1er párrafo: “La propiedad de las tierras y aguas comprendidas dentro de los límites del territorio nacional, corresponde originariamente a la Nación, la cual ha tenido y tiene el derecho de transmitir el dominio de ellas a los particulares, constituyendo la propiedad privada”.

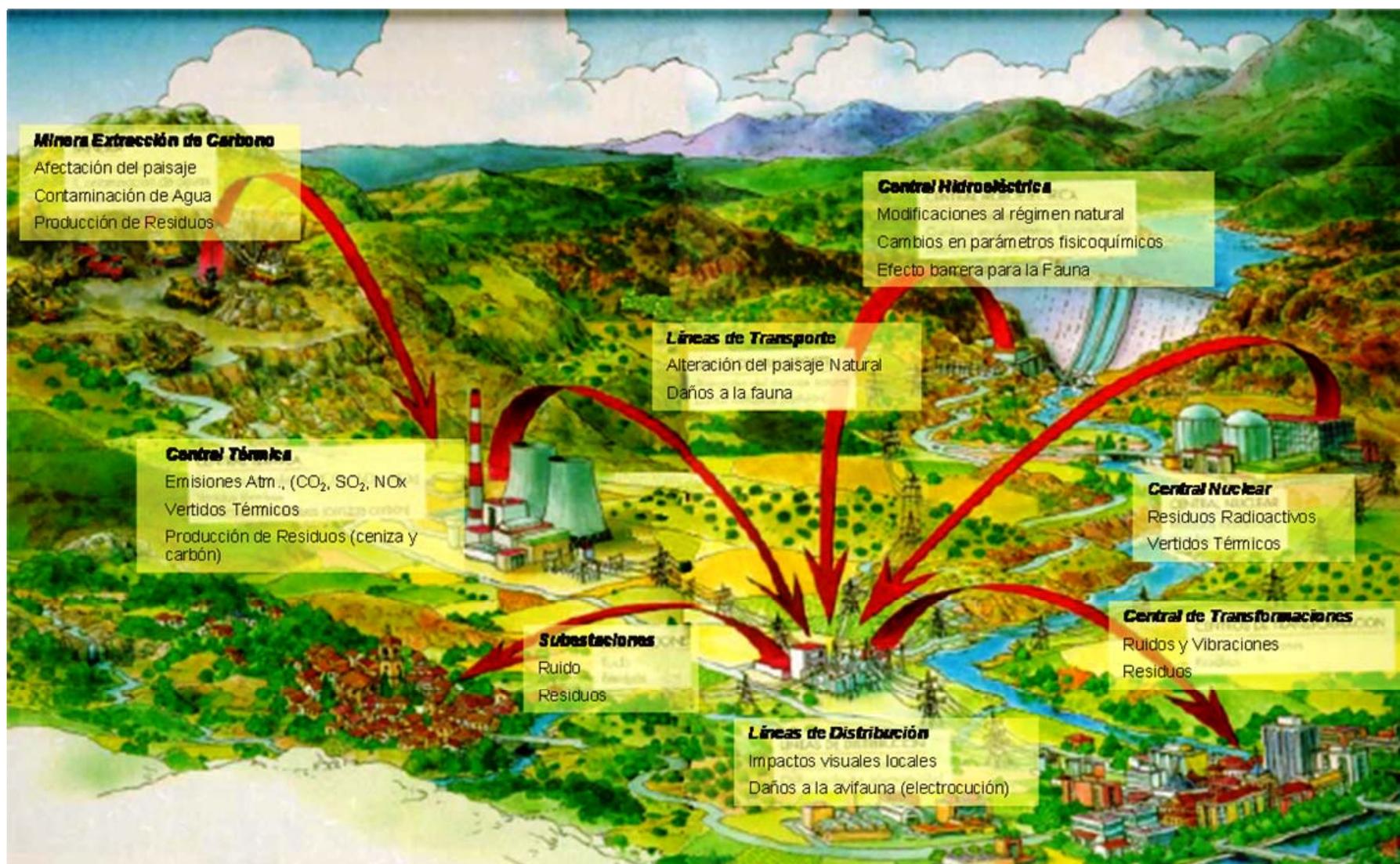


Figura 23. Principales impactos potenciales sobre el medio ambiente por el sector eléctrico Fuente: Delso, 2001

3er. Párrafo: “La nación tendrá en todo el tiempo el derecho de imponer a la propiedad privada las modalidades que dicte el interés público, así como el regular, en beneficio social, el aprovechamiento de los elementos naturales susceptibles de apropiación, con objeto de hacer una distribución equitativa de la riqueza pública, cuidar su conservación, lograr el desarrollo equilibrado del país y el mejoramiento de las condiciones de vida de la población rural y urbana. En consecuencia, se dictarán las medidas necesarias para ordenar los asentamientos humanos y establecer adecuadas provisiones, usos, reservas y destinos de tierras, aguas y bosques, a efecto de ejecutar obras públicas y de planear y regular la fundación, conservación, mejoramiento y crecimiento de los centros de población; para preservar y restaurar el equilibrio ecológico; para el fraccionamiento de los latifundios; para disponer, en los términos de la ley reglamentaria, la organización y explotación colectiva de los ejidos y comunidades; para el desarrollo de la pequeña propiedad rural; para el fomento de la agricultura, de la ganadería, de la silvicultura y demás actividades económicas en el medio rural, y para evitar la destrucción de los elementos naturales en perjuicio de la sociedad”.

- Artículo 73: El Congreso tiene facultad para:

Fracción XXIX-G: “ Expedir leyes que establezcan la concurrencia del Gobierno Federal, de los gobiernos de los Estados y de los Municipios, en el ámbito de sus respectivas competencias, en materia de protección al ambiente y de preservación y restauración del equilibrio ecológico.”

- Artículo 115, fracción V: “Los Municipios, en los términos de las leyes federales y Estatales relativas, estarán facultados para: inciso g) participar en la creación y administración de zonas de reservas ecológicas y en la elaboración y aplicación de programas de ordenamiento en esta materia”.

Por lo tanto, en la Constitución Política la protección ambiental, en su conjunto, se contempla desde los tres enfoques siguientes: a) conservación de los recursos naturales susceptibles de apropiación; b) prevención y control de la contaminación que afecta la salud humana, y c) el cuidado del medio ambiente frente al uso de los recursos productivos que hacen los sectores social y privado. De estos enfoques, el más importante ha sido el de la conservación de los recursos naturales susceptibles de apropiación, ya que a partir de él se han estructurado los principales ordenamientos jurídicos en la materia, entre ellos la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA), con reformas importantes en 1996.

V.2.2 Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente

Esta ley es el principal instrumento jurídico vigente en materia de protección ambiental en su conjunto. Sus antecedentes son: la Ley Federal para Prevenir y Controlar la Contaminación Ambiental

(1971), la cual fue abrogada por la Ley Federal de Protección al Ambiente (1982), que a su vez fue sustituida por la LGEEPA en 1988 y reformada en 1996.

De acuerdo con el artículo 1º, la LGEEPA es reglamentaria de las disposiciones de la Constitución Política que se refieren a la preservación y restauración del equilibrio ecológico, así como a la protección al ambiente, en el territorio nacional y las zonas sobre las que la nación ejerce su soberanía y jurisdicción. La propia ley define el equilibrio ecológico como la relación de interdependencia entre los elementos que conforman el ambiente que hace posible la existencia, transformación y desarrollo del hombre y demás seres vivos. También define el término preservación como el conjunto de políticas y medidas para mantener las condiciones que propician la evolución y continuidad de los procesos naturales. De aquí se desprende que, desde el punto de vista jurídico, la preservación y restauración del equilibrio ecológico es mantener y, en su caso, recuperar la relación de interdependencia de los elementos de la biosfera. Dicha ley señala que la protección al ambiente es el conjunto de políticas y medidas para mejorar el ambiente y prevenir y controlar su deterioro, es necesario resaltar que la ley se refiere continuamente al mejoramiento de la calidad de la vida como uno de los objetivos de la protección al ambiente.

La LGEEPA establece el régimen de atribuciones que tiene el estado en materia de preservación y restauración del equilibrio ecológico, e indica que será ejercido de manera concurrente con las entidades federativas y los municipios, en sus respectivos ámbitos de competencia. Las bases de la ley señalan que son asunto de competencia federal los de interés para la Federación, y de ámbito local, los que competen a los estados y municipios para ejercerlos exclusivamente o participar en su ejercicio con la Federación, en sus respectivas circunscripciones.

Por otra parte la LGEEPA también considera el ordenamiento ecológico general del territorio como un proceso de planeación dirigido a programar el uso del suelo de acuerdo con su aptitud y características potenciales. La decisión de construir una instalación para generar electricidad debe basarse en una primera instancia en el ordenamiento ecológico general del territorio; la industria eléctrica, uno de los pilares del desarrollo económico del país, deberá ser modelo en sus relaciones con el medio ambiente y con la salud de la población.

Los mecanismos para la ejecución de la política ecológica de la LGEEPA (Brañes, 1994) pueden clasificarse en: 1) instrumentos específicos de la política ecológica; 2) instrumentos generales de la política de desarrollo, y 3) instrumentos de control. Los dos primeros grupos de mecanismos para la ejecución de la política ecológica son de carácter preventivo; el último grupo es de carácter correctivo.

Los instrumentos específicos de la política ambiental son: la planeación ecológica; el ordenamiento ecológico; la evaluación del impacto ambiental; las normas técnicas ecológicas; las

medidas de protección de áreas naturales; la investigación y educación ecológicas, y la información y la vigilancia (Soberanes *et al*, 1997).

V.2.3 La evaluación de impacto ambiental (EIA)

La evaluación de impacto ambiental inicia como consecuencia de las limitaciones que presentaban las técnicas de evaluación de proyectos de desarrollo regional para manejar las afectaciones ambientales y a los ecosistemas (Ahmad, 1985). Esta situación vino a modificar la forma tradicional de realizar la evaluación de proyectos regionales, pensando en la factibilidad técnica, jurídica y viabilidad financiera, donde los aspectos sociales y ambientales no formaban parte medular de la evaluación.

Durante casi treinta años el concepto de Impacto Ambiental se ha mantenido sin cambios, entendiéndose por este “el proceso que evalúa y predice los efectos que pudiera generar una acción, llámese política, plan, programa o proyecto sobre el ambiente o la salud humana en lo económico, social, físico, biológico y estético, donde las conclusiones que arroja el estudio representan una herramienta para la toma de decisiones (Therivel, 1992; Wathern, 1994 y Gilpin, 1995). La evaluación tiene entonces por propósito, prevenir la degradación ambiental por medio de la aportación de mejor información a los encargados de la toma de decisiones sobre las consecuencias que pudieran ocasionar al ambiente acciones de desarrollo, pero que por sí mismas no pueden prevenirse (León y Graizboard, 2004).

El proceso que regularmente sigue una evaluación de impacto ambiental puede resumirse en los siguientes puntos:

- Revisar el estado que guarda el ambiente y las características de la acción propuesta y posibles acciones alternativas.
- Identificar y evaluar los efectos significativos que producen las acciones sobre el ambiente.
- Predecir el estado del ambiente a futuro con o sin la acción, ya que la diferencia entre las dos situaciones es lo que se denomina impacto.
- Considerar métodos para reducir, eliminar, compensar o evitar efectos negativos o adversos al ambiente y la salud.
- Preparar un documento (manifiesto de impacto ambiental) que discuta los puntos críticos positivos y negativos del estudio que permitan plasmar un balance objetivo de la acción.
- Tomar una decisión sobre el curso de la acción para su aprobación, rechazo o condicionamiento.
- Efectuar el monitoreo de impactos

El Manifiesto de Impacto Ambiental, es un documento preparado por el proponente que contiene los resultados y conclusiones de la evaluación. En él se describe la propuesta de desarrollo o actividad (política, plan, programa y proyecto) y da a conocer los efectos probables o ciertos efectos de la acción sobre el ambiente. Una EIA es por tanto un estudio integral en el tratamiento de sus apartados, objetivo en su enfoque y lo suficientemente específico para que una persona común pueda comprender las consecuencias potenciales positivas o perjudiciales que tiene la propuesta para que ésta se lleve o no a cabo (Gilpin, 1995 y Fortlage, 1990).

Por último, la evaluación de impacto ambiental se caracteriza por ser una herramienta técnica ligada a la toma de decisiones políticas dentro de un sistema de planeación que demanda el conocimiento de diferentes disciplinas, conformación de grupos de trabajo tanto para la elaboración como para la revisión de propuestas y de procesos de información y consulta a grupos que conforman la sociedad. Donde la aplicación principal que ha tenido este procedimiento ha sido para la evaluación de proyectos en la mayoría de los países, a pesar de haber sido planteado desde su origen en Estados Unidos para incidir en otros niveles de decisión como son: política, plan y programa (León y Graizboard, 2004).

V.2.4 Marco Regulatorio en la Generación de Energía Eléctrica

En la actualidad, nuestro país cuenta con un marco legal de grandes alcances que constituye una herramienta útil para preservar el equilibrio ecológico y hacerlo compatible con actividades que, como la generación de energía eléctrica, son indispensables para lograr mejores condiciones de vida para la totalidad de la población, y proveer dicho insumo esencial para cualquier actividad económica.

La misión del sector eléctrico en México es asegurar el suministro de energía eléctrica a nivel nacional en condiciones adecuadas de seguridad, estabilidad, oportunidad, cantidad, calidad y precio, con esmerada atención a los clientes, y promover el desarrollo social, protegiendo el ambiente y respetando los valores de las poblaciones en donde se encuentran las obras eléctricas.

El marco normativo vigente que permite regular las actividades en materia de energía eléctrica está conformado por una serie de disposiciones legales que van desde la *Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos* hasta las normas oficiales mexicanas y el *Manual de servicios al público en materia de energía eléctrica*, de acuerdo con la estructura descrita en la figura 24. (SENER, 2000)

V.2.4.1 Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos (Artículos 27, 28 y 25)

El marco regulatorio del sector eléctrico mexicano tiene como fundamento los Artículos 25, 26, 27 párrafo sexto, 28, 73, 74, 90, 108, 110, 123 y 134 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos.



Figura 24. Marco Regulatorio del Sector Eléctrico

V.2.4.2 Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica (LSPEE)

Esta ley es el ordenamiento principal de esta materia, la cual regula propiamente la prestación del servicio público de energía eléctrica así como la organización y funcionamiento de la CFE, constituyéndose en su ley orgánica.

V.2.4.3 Ley Orgánica de la Administración Pública Federal

Esta ley se refiere a la asignación de facultades de las secretarías de Estado particularmente a la Secretaría de Energía y el reconocimiento y ubicación estructural de las entidades paraestatales.

V.2.4.4 Ley de la Comisión Reguladora de Energía

Para fortalecer el marco regulatorio en materia de energía eléctrica, gas natural y gas LP, el 31 de octubre de 1995 se publicó la *Ley de la Comisión Reguladora de Energía*, mediante la cual se otorgó a la CRE autonomía técnica y operativa, con el objeto de promover el desarrollo eficiente, entre otras, de las siguientes actividades:

- Suministro y venta de energía eléctrica a los usuarios del servicio público.
- Generación, exportación e importación de energía eléctrica que efectúen los particulares.
- Adquisición de energía eléctrica que se destine al servicio público.
- Los servicios de conducción, transformación y entrega de energía eléctrica entre los suministradores y entre éstos y los titulares de permisos para la generación, exportación e importación de energía eléctrica.

- La misión de la CRE es contribuir a salvaguardar la prestación de los servicios públicos relacionados con la energía eléctrica, gas natural y, en su caso, gas LP, fomentar una sana competencia, proteger los intereses de los usuarios y de los diferentes participantes en el sector de energía eléctrica, además de atender a la confiabilidad, estabilidad y seguridad en el suministro y en la prestación de los servicios.

V.2.4.5 Secretaría de Energía (SE)

Esta dependencia es cabeza del sector y tiene como principal función conducir la política de energía del país. En consecuencia, le corresponde llevar a cabo la planeación del suministro de energía a mediano y largo plazos fijando las directrices económicas y sociales del sector, dentro de la normatividad aplicable (SENER 2002).

En el ámbito particular del sector de energía eléctrica, la SE es responsable de:

- Ejercer los derechos de la nación sobre los bienes y recursos naturales que se requieran para generar, conducir, transformar, distribuir y abastecer energía eléctrica para la prestación del servicio público.
- Conducir la actividad de las entidades paraestatales cuyo objeto esté relacionado con la generación de energía eléctrica, con apego a la legislación en materia ecológica.
- Promover la participación de los particulares en la generación de electricidad, de acuerdo con los términos de las disposiciones aplicables.

V.2.4.6 Comisión Reguladora de Energía (CRE)

La CRE (2004) se creó por Decreto presidencial publicado en el *Diario Oficial de la Federación* el 4 de octubre de 1993, y el 31 de octubre de 1995 se publicó la *Ley de la Comisión Reguladora de Energía*. La CRE es un órgano desconcentrado de la SE, con autonomía técnica y operativa, que tiene entre sus principales funciones regular las actividades de los operadores públicos y privados en materia de energía eléctrica y gas natural. Las atribuciones de la CRE en materia de energía eléctrica son:

- Participar en la determinación de las tarifas para el suministro y venta de energía eléctrica.
- Aprobar los criterios y las bases para determinar el monto de las aportaciones de los gobiernos de las entidades federativas, ayuntamientos y beneficiarios del servicio público de energía eléctrica, para la realización de obras específicas, ampliaciones o modificaciones de las existentes, solicitadas por aquéllos para el suministro de energía eléctrica.
- Verificar que en la prestación del servicio público de energía eléctrica se adquiera aquella que resulte de menor costo para las entidades que tengan a su cargo la prestación del servicio

público y ofrezca, además, óptima estabilidad, calidad y seguridad para el *Sistema Eléctrico Nacional*.

- Aprobar las metodologías para el cálculo de las contraprestaciones por la adquisición de energía eléctrica que se destine al servicio público, y por los servicios de conducción, transformación y entrega de energía eléctrica.
- Opinar, a solicitud de la Secretaría de Energía, sobre la formulación y seguimiento del programa sectorial en materia de energía, sobre las necesidades de crecimiento o sustitución de capacidad de generación del *Sistema Eléctrico Nacional*.
- Otorgar y revocar los permisos y autorizaciones que, conforme a las disposiciones legales aplicables, se requieran para la ejecución de actividades reguladas.

V.2.4.7 Comisión Nacional para el Ahorro de Energía (CONAE)

La CONAE (2004) fue creada por Acuerdo presidencial en 1989 y, mediante Decreto presidencial, el 20 de septiembre de 1999 se constituyó como órgano desconcentrado de la Secretaría de Energía. Funge como órgano técnico de consulta de las dependencias y entidades de la administración pública federal, así como, cuando lo soliciten, de los gobiernos de las entidades federativas, municipios y de los particulares, en materia de ahorro y uso eficiente de la energía y aprovechamiento de las energías renovables. Las facultades más importantes de la CONAE son:

- Fomentar la eficiencia en el uso de la energía mediante acciones coordinadas con las diversas entidades de la administración pública federal y con los gobiernos de las entidades federativas y de los municipios, así como con los sectores social y privado mediante acciones concertadas.
- Preparar los programas nacionales en materia de ahorro y uso eficiente de energía y el fomento del aprovechamiento de las energías renovables.
- Formular y proponer al Ejecutivo Federal, por conducto de la SE, los programas de inversión, operación y financiamiento necesarios para cumplir los objetivos de eficiencia energética y aprovechamiento de energías renovables.
- Promover y apoyar la investigación científica y tecnológica en materia de ahorro y uso eficiente de energía y para el aprovechamiento de las energías renovables, así como integrar, analizar y, en su caso, difundir la información relacionada con estos temas.
- Desarrollar normas oficiales mexicanas de uso eficiente de energía.
- Brindar asistencia técnica a los diversos sectores de la economía en materia de ahorro y uso eficiente de energía y de energías renovables.

- Promover, gestionar y apoyar las actividades tendientes a obtener y aplicar los fondos provenientes de financiamientos públicos y privados, para la implantación de acciones de ahorro y uso eficiente de la energía.

V.3 NORMATIVIDAD ECOLÓGICA

La política ambiental nacional tiene como objetivos, entre otros, la preservación, restauración y mejoramiento del ambiente, la protección de áreas naturales, el aprovechamiento de recursos naturales y la prevención y control de la contaminación del aire, agua y suelos.

Para implantar esta política la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), en coordinación con la Secretaría de Energía y la Secretaría de Comercio y Fomento Industrial (SECOFI), deben regular las actividades que el Artículo 27 constitucional reserva a la nación, relacionadas con la exploración y explotación de los recursos naturales (hidráulicos y geotérmicos, entre otros), cuando estas actividades puedan originar desequilibrios ecológicos o daños al ambiente. Sus instrumentos son:

- La *Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente*, que prevé incentivos económicos para promover la innovación tecnológica y para penalizar a los agentes contaminantes y los esquemas de autorregulación que fomentan la corresponsabilidad y la iniciativa del sector privado.
- Las *Normas Oficiales Mexicanas (NOM)* en materia de protección ambiental, uno de los aspectos fundamentales de la política ecológica.

La reorientación de la política nacional de combustibles es una de las acciones más concretas para mejorar la calidad del medio ambiente, ya que promueve el empleo de hidrocarburos cuya combustión genere menor contaminación y el uso de tecnologías más eficientes en los procesos industriales. Para ello, se pretende reducir el consumo de combustóleo de alto contenido de azufre e incrementar el uso del gas natural, principalmente en zonas ambientalmente críticas, por medio de:

- Conversión de alrededor de 70% de las plantas termoeléctricas del *Sistema Eléctrico Nacional* que estén ubicadas en zonas ambientalmente críticas, al uso del gas natural en lugar de combustóleo.
- Mayor uso del gas natural como combustible industrial derivado de los estándares ambientales más estrictos establecidos en la NOM-085-ECOL-1994.
- Construcción de nuevas plantas de generación eléctrica que preferentemente utilicen la tecnología de ciclo combinado.

Es de particular importancia la norma NOM-085-ECOL-1994, que establece los niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera de humos, partículas suspendidas totales, bióxido de

azufre y óxidos de nitrógeno de los equipos de combustión de las fuentes fijas. Su observancia es obligatoria para equipos de calentamiento *indirecto* por combustión, así como para los equipos de generación eléctrica de ciclo combinado. La NOM 085 presenta varias características importantes:

- Establece límites de emisión para diversos contaminantes en función del tamaño de los equipos y de su antigüedad, de la zona (Zona Metropolitana de la Ciudad de México, zonas críticas y resto del país) y del tipo de combustible (sólido, líquido y gas) (figura 25).

- Considera la calidad de los combustibles disponibles en el país para establecer los niveles máximos de emisión, por lo que en forma simultánea se publicó la NOM-086-ECOL-1994, que establece las especificaciones que deben reunir los combustibles fósiles líquidos y gaseosos que se usan en fuentes fijas y móviles.

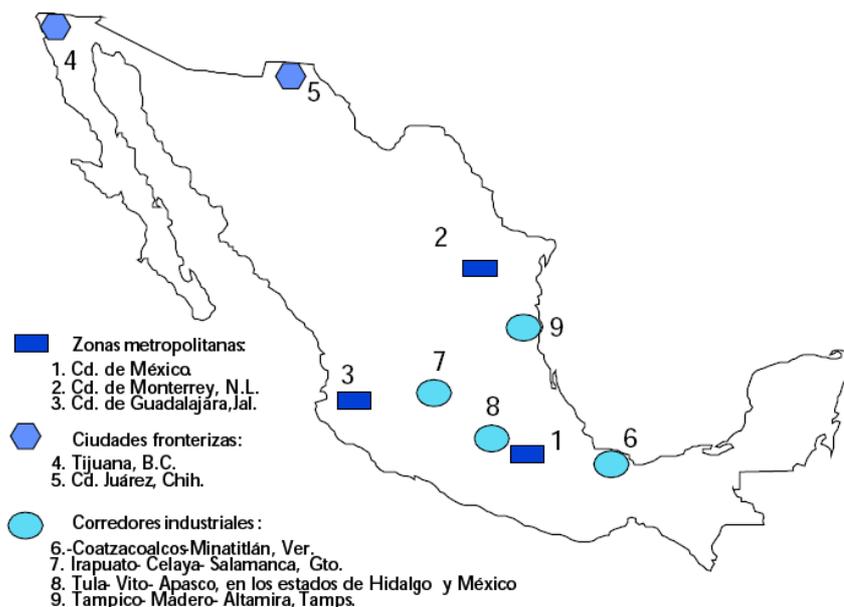


Figura 25. Zonas críticas definidas en la NOM- 085-ECOL-1994

- Basa su instrumentación en 2 etapas, una inmediata a su publicación en 1994 y una 2ª etapa a partir del 1º de enero de 1998 para dar tiempo a los responsables de las fuentes fijas de tomar las medidas pertinentes y para disponer de ciertos combustibles industriales con menor contenido de azufre.

- Establece niveles regionales de emisión, además de los límites de sitio, para cuyo cumplimiento se establecería un mecanismo de certificados de emisión.

Otras normas oficiales mexicanas de protección ambiental que destacan para el sector eléctrico nacional se mencionan a continuación:

- **NOM-114-ECOL-1998.** Establece las especificaciones de protección ambiental para la planeación, diseño, construcción, operación y mantenimiento de líneas de transmisión y de subtransmisión eléctrica.

- **NOM-CCA-001-ECOL/96.** Establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores provenientes de las centrales termoeléctricas convencionales.

- **NOM-034-ECOL-1993.**- Establece los métodos de medición para determinar la concentración de monóxido de carbono en el aire ambiente y los procedimientos para la calibración de los equipos de medición.
- **NOM-035-ECOL-1993.**- Establece los métodos de medición para determinar la concentración de partículas suspendidas totales en el aire ambiente y el procedimiento para la calibración de los equipos de medición.
- **NOM-036-ECOL-1993.**- Establece los métodos de medición para determinar la concentración de ozono en el aire ambiente y los procedimientos para la calibración de los equipos de medición.
- **NOM-037-ECOL-1993.**- Establece los métodos de medición para determinar la concentración de bióxido de nitrógeno en el aire ambiente y los procedimientos para la calibración de los equipos de medición.
- **NOM-038-ECOL-1993.**- Establece los métodos de medición para determinar la concentración de bióxido de azufre en el aire ambiente y los procedimientos para la calibración de los equipos de medición.
- **NOM-113-ECOL-1998.** Establece las especificaciones de protección ambiental para la planeación, diseño, construcción, operación y mantenimiento de subestaciones eléctricas de potencia o de distribución.
- **NOM-114-ECOL-1998.** Establece las especificaciones de protección ambiental para la planeación, diseño, construcción, operación y mantenimiento de líneas de transmisión y de subtransmisión eléctrica.

De acuerdo a lo anterior es importante mencionar que una vez en operación las plantas de energía eléctrica, éstas deberán cumplir las obligaciones de acuerdo a los ordenamientos vigentes para la prevención y control de la contaminación atmosférica por fuentes fijas, entre las que se encuentran las siguientes:

- Obtener licencia de funcionamiento y presentar anualmente la cédula de operación,
- Integrar su inventario de emisiones,
- Instalar plataformas y puertos de muestreo para medir las emisiones,
- Medir y llevar un registro de las emisiones de contaminantes atmosféricos e informar los resultados ante SEMARNAT cuando menos una vez al año,
- Realizar monitoreos perimetrales de emisiones contaminantes
- Llevar bitácora de operación y mantenimiento de equipos,
- Avisar a la autoridad del reinicio de operación en caso de paro programado
- Avisar a la autoridad en caso de falla del equipo de control,

- Emplear equipos y sistemas para controlar las emisiones contaminantes.

La PROFEPA ha elaborado un procedimiento adecuado para la verificación anual de emisiones industriales, que comprende la revisión de los aspectos anteriores, así como la revisión de la operación adecuada de los equipos y sistemas de control de emisiones y la verificación de la sustitución de infraestructura obsoleta por tecnología limpia, con base en mediciones de las emisiones. Las fuentes fijas deberán cumplir, además, las disposiciones relativas a contaminación del agua y residuos peligrosos, según el caso.

Como hemos visto la legislación ambiental mexicana es muy extensa y ha tenido un desarrollo acelerado en los últimos años. Por lo mismo, en ocasiones no ha podido actualizarse con la velocidad requerida. La gestión ambiental es compleja y requiere de un gran número de acciones. Esto llevará a las empresas en general al incluir en su estructura organizativa un grupo de expertos dedicados a tal fin.

Recordemos que la legislación ambiental es el marco de referencia para proteger el ambiente. Sin embargo, no debe confundirse esa labor de protección con los trámites legales y administrativos. La protección ambiental debe ser parte integral de la planeación, diseño, construcción y operación de las obras eléctricas. En la generación de energía eléctrica se debe reforzar la actitud propositiva para proteger al ambiente.

Se requiere un proceso de culturización en materia de protección ambiental y aprovechamiento racional de los recursos naturales. Si se tiene éxito, y ésta es una interrogante de la mayor trascendencia para el desarrollo del sector, se podrá asegurar un desarrollo sustentable.

El dilema es consolidar una industria eléctrica ambientalmente sana, con altos índices de eficiencia y competitividad, y a la vez abastecer la creciente demanda originada por el incremento de las actividades económicas y de la población. En otras palabras, se trata de profundizar la aplicación del concepto del desarrollo sustentable al sector eléctrico. El futuro de la relación ambiente-energía tiende a ser cada vez más vinculante. Las normas ambientales establecerán límites y tendencias al sector energético, estrategias, en materia de protección ambiental, y el ahorro y conservación de recursos naturales, para el logro del desarrollo sustentable.

DISCUSIÓN

El análisis preliminar de un proceso de Cambio Global como lo es el Calentamiento de la Tierra causado por la acumulación de Gases de Efecto Invernadero, producto de la quema de combustibles fósiles y otras actividades humanas como la generación de energía eléctrica; revela oportunidades para mejorar el intercambio de información, generar sinergias y mejorar el desempeño en relación a esta problemática y los impactos que se tienen sobre el desarrollo o el establecimiento de los recursos naturales del país.

El problema del cambio climático, desde el punto de vista de un país, tiene sentido cuando se considera la manera de cómo las anomalías en el clima afectan a los sectores socioeconómicos. En México, la vulnerabilidad de la población a climas extremos es grande. Dado que una vasta parte de nuestro territorio es semiárido (poca precipitación la mayor parte del año), los cambios en la temporada de lluvias resultan en amenaza de sequía (Hernández y Valdez, 2004) y, con frecuencia, en desastres para sectores dependientes del agua. Es por ello que para nuestro país el manejo adecuado de este recurso se ha vuelto prioritario. Como en muchas otras partes del mundo, donde las variaciones en las lluvias estacionales han sido poco estudiadas.

México contribuye con cerca de 2% de las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero (GEI), representando el decimotercero país que emite más bióxido de carbono, por quema de combustibles fósiles, a la atmósfera del planeta. De seguir la tendencia actual del consumo de energía, y en un escenario de PIB de 6.0%, se estima que para el año 2010, México estará emitiendo cerca del doble de lo actual (Maser y Sheinbaum, 2004). Asimismo es un país clave respecto al Protocolo de Kyoto, ya que por un lado algunos de sus indicadores energéticos están dentro del rango de países desarrollados, y por otro, enfrenta problemas comunes a los países en desarrollo. De aquí la importancia de las estrategias aquí planteadas, en las cuales se ha analizado el panorama nacional de la producción y uso de la energía dando especial énfasis a las emisiones asociadas de bióxido de carbono.

El gobierno mexicano cuenta, dentro de su estructura operativa, con diversas unidades administrativas enfocadas a la investigación en materia del Cambio Climático, así como a la promoción e implementación de proyectos para reducir las emisiones de GEI's.

Para dar cumplimiento a los compromisos internacionales que nuestro país asumió al firmar y ratificar la CMNUCC y el Protocolo de Kyoto, el Gobierno de México creó el 24 de abril del 2005 la Comisión Intersecretarial de Cambio Climático (CICC). Esta comisión, presidida por la SEMARNAT, tiene como principal objetivo coordinar las acciones de la Administración Pública Federal en materia de políticas nacionales en el tema. Así mismo, dentro de las obligaciones que el gobierno mexicano adquirió en la CMNUCC, está la elaboración de los inventarios de emisiones de GEI's. Por lo que la

CICC tiene a cargo la formulación e instrumentación de las políticas nacionales para la prevención y mitigación de emisiones de GEI's y en general a promover el desarrollo de programas y estrategias de acción climática relativos al cumplimiento de los compromisos suscritos por México en la Convención Marco en la materia y los demás instrumentos derivados de la misma.

Aunado a lo anterior podemos decir que el calentamiento global de la Tierra implica una responsabilidad mucho mayor para los países desarrollados, pero esto no debe ser pretexto para eludir nuestros compromisos principalmente con el medio ambiente. Se presento la estrategia nacional de cambio climático 2007 que se inscribirá en el Plan Nacional de Desarrollo, sin embargo esta estrategia no integra metas específicas, ni logros que se tienen que buscar dentro de un Programa Nacional de Cambio Climático para lo cual es necesario proponer líneas de acción, políticas y estrategias que sirvan para elaborar dicho programa. La defensa de la biodiversidad nos obliga a esforzarnos tanto como gobierno o como sociedad para conservar y restaurar nuestros ecosistemas. Se estima que el costo de la inacción global seria entre 5 y 20 veces mayor al costo previsible para instrumentar las medidas necesarias que es de alrededor de 10 mil millones de dólares, por lo que es necesario seguir encaminados con estas estrategias de acción y sobre todo abrir mas espacios donde la sociedad entera participe y conozca de la problemática, así como también programas de investigación que den oportunidad a las generaciones venideras a conocer esta problemática.

La industria ha sido un sector poco estudiado en términos de su sensibilidad climática, en virtud de la percepción de su relativamente baja sensibilidad y de su gran poder de adaptación al cambio climático (Panel on Policy Implications of Greenhouse Warming 1992). El cambio climático tendrá impactos diferenciales en distintas ciudades y regiones porque los diversos grupos sociales y los lugares serán en mayor o menor medida vulnerables a él (Liverman, 1992). De aquí la necesidad de desagregar el análisis del cambio climático por zonas y por grupos sociales para evaluar en qué medida ciertos grupos sociales y lugares se verán afectados más amplia y rápidamente que otros.

La economía mexicana, en los últimos años, ha observado importantes transformaciones estructurales cuyas consecuencias sobre el medio ambiente son complejas y aún difíciles de cuantificar con exactitud. En conjunto, la evidencia disponible para México sugiere que el proceso de industrialización se ha concentrado tradicionalmente en actividades con altos índices de contaminación, mientras que la dinámica de las actividades agropecuarias no contribuyó a preservar los bosques. El comportamiento de la industria mexicana no obedece, sin embargo, a lo que se conoce como un paraíso de contaminación, sino que corresponde a la hipótesis de Linder, en donde la oferta sigue a la demanda y por tanto se asocia a una fase específica del proceso de crecimiento económico. Lo cual significa que la composición del producto es un factor relevante para determinar el monto total de emisiones a la atmósfera. (Galindo, 2004).

La vulnerabilidad de estos sectores está relacionada con la importancia que tiene la economía de un país, es decir, su participación en el producto interno bruto (PIB), puesto que, una vez que se ha determinado su grado de vulnerabilidad, es posible inferir la forma en que dicha vulnerabilidad afectaría a la economía del país en su conjunto. Otro aspecto importante es que, tanto el sector energético (en particular por la quema de combustibles fósiles en las centrales termoeléctricas) como el industrial, guardan una relación biunívoca con el calentamiento global (CG), porque ambos sectores son los que más contribuyen a la acumulación de gases invernadero en la atmósfera. Por lo tanto, otro hecho que se puede inferir de ello es que las áreas en donde se concentra la infraestructura de dichos sectores económicos serán también las más afectadas por las acciones de mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero (Sánchez y Martínez, 1999).

Sabemos que la generación de energía eléctrica es indispensable para el desarrollo del cualquier país y depende de que la electricidad llegue de forma segura, eficiente, oportuna y de calidad. Hoy en día, 95 de cada 100 mexicanos cuenta con servicio eléctrico; es decir, la electricidad llega a más de 22 millones de casas, empresas, industrias, talleres, etcétera., aunque aún faltan metas por alcanzar. Cada día, la población y la industria mexicana requieren más energía eléctrica, por lo que es necesario prevenir la demanda futura. Actualmente, el incremento de la demanda de electricidad es mayor al crecimiento de nuestra economía. Esto se debe, principalmente, al desarrollo de las actividades económicas del país y al aumento de la población.

Según con lo anterior podemos argumentar que el denominador común de todos los componentes del cambio ambiental global es el ser humano y sus actividades, que han adquirido enormes proporciones con relación a los flujos de energía y materiales en el nivel global. Por ejemplo, el ser humano consume directamente, él solo, cerca de 2% de la productividad primaria neta de los ecosistemas terrestres, pero al hacerlo utiliza o destruye cerca de 40% del total (Vitousek *et al.* 1986).

El sector eléctrico mexicano ha captado la atención tanto de la ciudadanía como de las autoridades y se ha hecho énfasis de la importancia que tiene este sector para el desarrollo social y económico del país. Esto ha hecho que se tomen medidas para cuantificar las emisiones de las centrales y ha inspirado la elaboración de un inventario de emisiones de contaminantes de este sector. Todas las centrales indican su consumo de combustible, sus emisiones y varias otras características de operación en el informe anual de operaciones presentado a la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), conocido como Cédula de Operación Anual (COA). Sin embargo, dada la naturaleza confidencial de estos documentos, no se han divulgado cálculos de las emisiones producidas por la generación de electricidad en México.

La generación termoeléctrica con base en combustibles fósiles ha desempeñado y seguirá haciéndolo, un importante papel en el sector eléctrico mexicano en el futuro inmediato. Con los datos

de emisiones aquí presentados para los contaminantes (CO₂, Hg, SO₂ y NO_x), se ha pretendido constituir una herramienta muy importante para el diseño de programas destinados a reducir la contaminación atmosférica ocasionada principalmente por centrales termoeléctricas en México.

El sector eléctrico es el mayor consumidor de energía, seguido, en orden de importancia, por los sectores: transporte, industrial, petrolero (incluye una pequeña contribución de la coquización de carbón), residencial, agropecuario, comercial y el público y de servicios. Su consumo de combustóleo representa el 66.1% de las emisiones de CO₂, y les siguen: el gas natural con el 16.7%; carbón con el 15.5%, y diesel con el 1.7%.

Los índices de emisión basados en la generación representan una medida de la cantidad de emisiones de SO₂, NO_x, CO₂ y Hg liberadas a la atmósfera por megawatt-hora (MWh) de electricidad producida. Los índices de emisión permiten comparar el desempeño relativo en cuanto a emisiones de centrales de diferente tamaño y con diferentes índices de utilización (Miller, 2004).

De acuerdo al análisis de emisiones realizado, es importante mencionar que de las 32 entidades federativas que comprenden nuestro país, 10 no cuentan con ninguna capacidad de generación instalada con base en combustibles fósiles o bien presentan emisiones insignificantes para los 4 contaminantes considerados. Se analizaron las emisiones para los años 1999, 2001 y 2002. En cuanto al 2002 se observa una tendencia a la reducción de emisiones de un 9.6 % respecto al 2001. En el 2001 y 2002 no hay una diferencia significativa en la capacidad de generación de todas las centrales en México y en general, parece que hay una tendencia a la reducción de emisiones. En particular, es significativa la reducción de CO₂, lo que probablemente es el resultado de un factor más alto de carga de la central para las centrales más limpias y un menor uso de unidades pico (Vijay *et al.*, 2004).

Coahuila, Veracruz, Hidalgo, Colima y Guerrero son los estados con las centrales eléctricas que emiten mayores cantidades de CO₂ en comparación con otros contaminantes. Esto obedece a diversos factores. En primer lugar, todos los combustibles fósiles producen emisiones de CO₂ cuando se queman, en segundo lugar, no hay sistemas de control de contaminación de uso rutinario que capten las moléculas de CO₂ a medida que van saliendo de la chimenea de una central eléctrica.

Los dos principales emisores de dióxido de azufre son plantas con base en la combustión de petróleo en los estados de Veracruz e Hidalgo. De acuerdo con Vijay *et al.*, (2004) las emisiones de SO₂ son directamente proporcionales al contenido de azufre en el combustible y la cantidad de combustible consumido, tanto el carbón como el petróleo contienen diversas concentraciones de azufre lo que da como resultado que las centrales eléctricas emitan diferentes cantidades de SO₂.

Miller (2004) argumenta que los factores que influyen en la cantidad de NO_x producida por las centrales eléctricas incluyen la cantidad de nitrógeno en el combustible, la cantidad de aire excedente (que es 78% nitrógeno), la temperatura de combustión del aire y el nivel de control de NO_x posterior a

la combustión. Como se mencionó anteriormente, las tres carboeléctricas mexicanas (dos en Coahuila y una en Guerrero) también son los tres principales emisores de contaminación por NO_x del sector eléctrico (Vijay *et al.*, 2004).

Para la perspectiva evaluada para el 2007 obtuvimos que Tamaulipas, Veracruz, Baja California, Nuevo León, e Hidalgo (orden decreciente) son los cinco estados con la nueva capacidad de generación planeada más grande en el caso del límite alto. La nueva capacidad en estos estados es principalmente por uso de gas natural, con cantidades pequeñas de petróleo y diesel. El Estado de Guerrero ha impulsado la planta de Petacalco con una generación de 2,100 MW. En cuanto al caso del límite bajo, Nuevo León, Veracruz, Tamaulipas, Baja California, e Hidalgo (orden descendente) son los cinco estados con los mayores aumentos de capacidad de generación por tipo de combustible fósiles. De acuerdo con la Secretaría de Energía (2003), se ha previsto la expansión con gas natural como combustible primario con tecnología de ciclo combinado y se espera que la participación de unidades térmicas convencionales, se reduzcan en un 20%, al pasar de 39.7% en el 2002 a 19.2% al final del periodo. Como hemos visto anteriormente, la ubicación de las centrales generadoras se orienta hacia la frontera norte, en zonas donde existe la posibilidad de transportar gas de las cuencas de EUA, lo que convierte a las áreas del centro del país y de la costa del Pacífico en compradoras de energía eléctrica.

En cuanto a la emisión de contaminantes en el caso del límite alto, Tamaulipas, Veracruz, Nuevo León, Baja California, e Hidalgo son nuevamente los cinco estados con las más grandes emisiones potenciales de CO₂ para las nuevas sumas de capacidad generada. Para las emisiones de SO₂, NO_x, y mercurio se incluye San Luís Potosí, entre los estados con más altas emisiones. La presencia de San Luís Potosí en tres de las cuatro categorías de contaminantes son debidas al proyecto de una planta de 260 MW, planta de carbón que es relativamente más contaminante que los proyectos de gas natural. El ingreso de “la Localidad desconocida” corresponde a una planta individual de 700 MW, con carbón como combustible. Esta planta ocupa el séptimo sitio en emisiones de CO₂, primero en SO₂ y mercurio, y tercero en NO_x entre los estados, por lo que alteraría las clasificaciones jerárquicas presentadas, probablemente, si se conociera su localización. El caso del límite bajo, los primeros cinco estados con las emisiones más altas para CO₂ y NO_x, asociado con nuevas sumas de capacidad son, en orden descendente son Nuevo León, Tamaulipas, Veracruz, Hidalgo, y Baja California. Para emisiones de SO₂, se incorpora entre los cinco primeros San Luís Potosí y Quintana Roo. Para el mercurio, son San Luís Potosí, Nuevo León, Veracruz, Hidalgo, y Tamaulipas.

El contar con información sobre emisiones de cada una de las centrales eléctricas permite calcular la contribución relativa de los distintos combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas natural) a la contaminación atmosférica de nuestro país. De acuerdo con Miller y colaboradores (2004) el

petróleo contribuye de manera importante tanto en la generación de electricidad como en la emisión de contaminantes, debido a que es el combustible predominante en este país, se estima que se produjo alrededor de 54.2% de la generación nacional en 2002, mientras que la combustión de carbón sólo produjo alrededor de 21.7% y el gas natural un 23.8%. En cuanto a las emisiones el petróleo es el combustible que produce una mayor cantidad de contaminantes 79.3% de SO₂, 60.2% de CO₂, 34.5% de NO_x y 16.9% de Hg. Le sigue carbón siendo el Mercurio con un mayor porcentaje 78%, seguido por un 46.6% correspondientes a los NO_x.

Es importante destacar que de los cuatro contaminantes analizados (NO_x, SO₂, Hg y CO₂); solo el CO₂ es un gas de efecto invernadero y por consiguiente el que contribuye al calentamiento global de la Tierra; y es del cual se ha analizado su efecto sobre los diferentes ecosistemas terrestres en nuestro país.

Diversos investigadores (Houghton, *et al.*, 1992, McGuffie, *et al.*, 1997, Watson, *et al.*, 1995, Magaña, *et al.*, 1997, IPCC, 2001) han usando gran variedad de modelos y calculado el efecto climático del aumento del CO₂; la mayoría de estos cálculos corresponden a la duplicación de este gas. La aplicación de los modelos de cambio climático proporciona información muy valiosa en relación con la vulnerabilidad de los ecosistemas, ante la duplicación de CO₂ en la atmósfera. Los modelos aplicados resaltan los tipos de vegetación más sensibles y las áreas geográficas que podrían ser afectadas por los cambios. Y se han analizado, con cierto grado de detalle, las variaciones climáticas a las que estarían expuestos los diferentes tipos de vegetación.

Las principales variables climáticas calculadas son la temperatura, la nubosidad, la precipitación y la humedad del suelo. Buscando, anomalías lo que significa el incremento (positivo o negativo) que estas variables tendrán cuando el CO₂ sea el doble del actual. Estos cálculos no son estrictamente predictivos, sino más bien de sensibilidad; pues aunque estuviéramos seguros de que para el año 2050 el CO₂ esté duplicado, estas anomalías no describen el clima que habrá a mediados del siglo XXI, ya que para entonces no sólo el CO₂ atmosférico, sino muchas otras cosas habrán cambiado en la atmósfera, el océano y el continente, y por lo tanto contribuirán a modificar el clima.

Con base en las diferencias en los valores de temperatura y precipitación, se estima que los tipos de vegetación más afectados en México serán los bosques templados, los bosques tropicales y los bosques mesófilos de montaña (Villers y Trejo 1998; Villers, 2004), lo que implicará un cambio en la distribución de las especies que habitan en esos ecosistemas. Se sabe que una modificación en el área de cobertura de los tipos de vegetación, ya sea una contracción o una expansión, necesariamente traerá como consecuencia una nueva distribución espacial de las especies, así como cambios en la abundancia de aquellas más susceptibles (Peterson *et al.* 2001 y Peterson *et al.* 2002).

Ante estos escenarios, aún no definitivos, se debe resaltar que al igual que los escenarios climáticos, los de la distribución futura de las especies, así como de la superficie ocupada por los distintos tipos de vegetación en México, tienen una gran incertidumbre. El aumento de las superficies de determinados tipos de vegetación no necesariamente se relaciona con el aumento en la abundancia o poblaciones locales de las especies que viven en él, ya que cada especie responderá de acuerdo con su capacidad de adaptación a los cambios climáticos y a la residencia de los ecosistemas en donde se distribuye (Arriaga y Gómez, 2004).

El cambio climático puede afectar el funcionamiento, la estructura y la distribución de ecosistemas forestales, especies constituyentes y recursos genéticos (Robledo y Forner, 2005). De hecho, ya se han observado cambios en poblaciones, en rangos de distribución, en composición, estructura y funcionamiento de ecosistemas debidos a cambios en el clima (McCarty, 2001). Los cambios de temperaturas y precipitaciones (promedios anuales y distribución durante el año) y de frecuencia e intensidad de eventos extremos pueden influir directamente sobre el funcionamiento del ecosistema, por ejemplo sobre el crecimiento de los árboles, la supervivencia de los organismos (especialmente de los que se encuentran en los límites de los ecosistemas o de los nichos ecológicos), los periodos de floración y fructificación de las plantas, y la destrucción de organismos por vientos, inundaciones o rayos (Locatelli, 2006).

Dudley (1998) propone una tipología de impactos posibles del cambio climático sobre ecosistemas forestales:

Perturbación: a las perturbaciones actuales, principalmente humanas, se podrían sumar perturbaciones por eventos extremos como tormentas y por cambios graduales en patrones de lluvias o temperaturas, que impactarían el funcionamiento, la composición y la estructura del bosque (Condit, 1998).

Simplificación: dado el crecimiento lento y las bajas capacidades de migración de los árboles en comparación con otras plantas, el cambio climático podría favorecer las especies de crecimiento rápido, de ciclo de vida corto (como las hierbas) e invasoras, lo que reducirá la biodiversidad de los bosques.

Migración: los ecosistemas se podrían mover, generalmente hacia los polos o hacia mayores alturas. Estudios en Costa Rica y Nicaragua (Halpin et al., 1995) mostraron que se van amover las zonas climáticas asociadas a ciertos tipos de vegetación. Sin embargo, los movimientos reales dependerán de la capacidad de dispersión de las especies y de las barreras a la migración (Pearson, 2006).

Reducción de edad: los fuegos, los ataques de plagas, la migración y las otras perturbaciones causarían el reemplazo de bosques maduros por bosques más jóvenes, lo que tendría implicaciones

importantes sobre la biodiversidad, ya que muchas especies se encuentran solamente en bosques adultos.

Extinción: algunos ecosistemas o especies podrían desaparecer por causa del cambio climático. (Pounds et al., 1999).

Cada especie tiene un patrón único de distribución relacionado con el clima, y responde diferencialmente a diversos patrones de factores climáticos, de manera que cambios climáticos severos provocan migración de especies hacia patrones diferentes, y la formación de nuevas asociaciones. Las comunidades vegetales actuales son, en realidad, asociaciones temporales de especies que perduran sólo cientos, o acaso algunos miles de años. Estas comunidades no existieron como entidades en el pasado, y no hay razón para esperar que continúen su coexistencia en el futuro. De hecho, a causa de la respuesta marcadamente individualista de las especies al clima y como consecuencia de que esta respuesta depende de las interacciones con otras especies dentro de la comunidad, resulta difícil determinar cuáles son los aspectos climáticos críticos para la distribución de una especie, y esto, a su vez, dificulta la elaboración de predicciones de su distribución futura. Los cambios en la distribución de una especie pueden deberse a cambios climáticos en los que la capacidad de dispersión de las especies limita su tasa de migración. Así, las predicciones sobre la futura respuesta al clima requieren el entendimiento de los factores que gobiernan la fase de regeneración (Rincón, *et al.*, 1999).

De igual forma Rincón y colaboradores (1999) argumentan que en comunidades complejas y de mayor diversidad, como lo son la selva tropical seca o lluviosa, en donde existen gran cantidad de especies importantes de los cuales nunca podríamos comprender sus controles climáticos como para saber acerca de futuros cambios en la vegetación. Ya que a pesar de la gran importancia que tienen estos ecosistemas (13.44% del territorio nacional) son escasos los datos experimentales sobre la respuesta de comunidades tropicales a la elevación atmosférica de CO₂ y a los cambios en el clima.

Sin embargo Rincón *et al* (1999) han predicho que en los sistemas tropicales el aumento en la concentración del CO₂ atmosférico también conducirá a cambios en la dominancia de especies dentro de las comunidades, lo cual, posiblemente, alterará los patrones de cobertura y sucesión de la vegetación. Estos cambios podrían darse más rápidamente en sistemas con abundancia de nutrientes e individuos jóvenes que en sistemas con escasez de nutrientes o formados principalmente por individuos de edad avanzada; sin embargo, hasta el momento es imposible predecir con seguridad cuáles especies ganarán o perderán en esta competencia. Con concentraciones altas de CO₂ atmosférico, la competencia por los nutrientes del suelo se intensificaría, como resultado del mayor crecimiento de las raíces, de mayor asignación de carbono a los sistemas radiculares y, por ende, de la presencia de grandes poblaciones de raíces finas (absorbentes) provenientes de muchas especies

vegetales de la comunidad. Así, se espera que la importancia de las interacciones entre raíces y entre éstas y los organismos del suelo, incrementen su intensidad e importancia en un mundo rico en CO₂.

De igual forma es importante mencionar que debido al efecto estimulante que el incremento atmosférico de CO₂ ejerce sobre la fotosíntesis, es de esperarse que los árboles adultos de las selvas respondan fijando una mayor cantidad de carbono (Granados y Corner, 2006). Sin embargo, existen evidencias que sugieren que las concentraciones actuales de carbono atmosférico se encuentran cerca del nivel de saturación. En este sentido, Körner, et al. (1995) menciona que la “limitación del sumidero de carbono” es otro mecanismo de importancia para entender la respuesta de la vegetación al incremento atmosférico de CO₂. Otros estudios han demostrado que las plántulas en el sotobosque de las selvas que se encuentran creciendo en condiciones de baja intensidad de luz (Chazdon y Pearcy, 1986), dicha condición influye en el efecto estimulante que el incremento atmosférico de CO₂ tiene sobre la fotosíntesis; dando lugar a una reducción en el punto de compensación de luz, lo cual genera un efecto multiplicativo en la fijación neta de carbono (Long y Drake, 1991). Evidencias experimentales obtenidas por Bazzaz y Miao (1983), Würth, Winter y Körner (1998) y Hättenschwiler y Körner (2000) demuestran un fuerte efecto estimulante en el crecimiento de plántulas que se desarrollan en habitats con una baja intensidad de luz.

De acuerdo con la hipótesis propuesta por Philips y Gentry (1994), las especies de crecimiento rápido (las cuales fijan menos carbono por unidad de superficie) podrían ser favorecidas por el incremento atmosférico de CO₂, lo que estaría influyendo la tasa de reposición de árboles tropicales.

Con lo anterior podemos aseverar que la biosfera a través de la historia ha desarrollado mecanismos de adaptación naturales como respuesta a los cambios climáticos; sin embargo, en la actualidad y en el futuro cercano estos son y serán demasiados rápidos y bruscos, por lo que se piensa que difícilmente los ecosistemas y las especies se adaptarán a esa velocidad.

Para el caso de México, la contribución a las emisiones de CO₂ no es muy significativa, en relación a Norteamérica ha evolucionado del 5.3% en 1990 a 5.4% en el 2003 y se espera que se incremente hasta el 6.3% para el 2030; a nivel mundial su participación se ha incrementado del 1.44% en 1990 al 1.49% en el 2003 y se espera que alcance el 1.52% el año 2030

En este estudio se realizó una comparación entre el potencial de captura de carbono por entidad federativa y el CO₂ emitido por las plantas de generación de energía eléctrica para el año 1999 Guerrero, Quintana Roo, Jalisco y Campeche, son los estados que capturan más CO₂ que la que emite la generación de energía eléctrica. Mientras que Coahuila, Veracruz, Hidalgo, Colima y Chihuahua, son los 5 estados con mayores emisiones de CO₂, siendo Veracruz y Chihuahua los que tienen una mayor captura de CO₂ en relación al CO₂ emitido. Durango presenta un potencial de captura (1946.57 Kt/año) no muy por debajo del CO₂ emitido (2337.32 Kt/año) por la generación de electricidad. Y de

acuerdo con Torres y Guevara (2003), el potencial de captura de carbono esta ligado al potencial de formación de biomasa. De ahí que las regiones donde resultan factibles altos rendimientos de biomasa sean las regiones de mayor potencial de captura de carbono. Para México estas áreas están localizadas a lo largo de las llanuras costeras y en el sur y sureste del país, donde se registran los mayores rendimientos de biomasa. Se estima que México tiene una superficie forestal de 141 742 169 ha, lo que representa 72.05% del territorio nacional, la cual incluye bosques, selvas, vegetación de zonas áridas, vegetación hidrófila y halófila, así como áreas perturbadas. En particular, 40% son áreas arboladas ocupadas por bosques y selvas, que en relación con el total de la superficie del país equivale a 29%. Las mayores áreas de bosques de clima templado y frío están ubicadas en el norte del país, en los estados de Chihuahua y Durango, con 7.1 millones y 5 millones de ha, respectivamente. Las entidades con mayor superficie de selvas predominan hacia el sureste: Quintana Roo con 3.7 millones de ha, Campeche con 3.3 millones de ha, Oaxaca con 2.4 millones de ha y Chiapas con 2.2 millones de ha (SARH, 1994). Lo que explica el porque estos estados son los que presentan el mayor potencial de captura de carbono y se pueden considerar como los mejores lugares para ubicar proyectos de captura de carbono con el desarrollo de plantaciones o sistema de cultivo de alto rendimiento en producción de biomasa (Torres y Guevara, 2003).

Las proyecciones presentadas hasta ahora corresponden a un escenario tendencial de referencia que no considera los efectos de poner en práctica las medidas de mitigación que se plantean en el Protocolo de Kyoto. Puesto que dicho Protocolo ya entró en vigor, es procedente considerar un escenario más optimista desde el punto de vista del Cambio. México cuenta con bastos recursos energéticos, tanto renovables como fósiles, con los cuales se podrá incrementar el valor de este indicador; los retos que se tienen por delante son aumentar el aprovechamiento de las energías renovables para la generación de la electricidad, así como tener acceso a nuevas tecnologías más eficientes, basadas en combustibles fósiles, y más limpias.

En este sector, con base en la disponibilidad de recursos con que cuenta el país así como la forma en que estos son aprovechados, se han identificado áreas de oportunidad cuyo aprovechamiento se puede dar mediante proyectos y tecnología específicas, traducándose en un gran potencial de reducción de las emisiones de CO₂. El primer paso para aprovechar este tipo de energéticos es identificar el potencial que presenta cada fuente en el país, así como su estado de desarrollo. En los últimos años se le ha dado mayor promoción a las grandes hidroeléctricas para la generación de electricidad (22% de la capacidad efectiva de generación instalada en el 2005), pero también tiene un alto potencial para el desarrollo de la energía eólica, la instalación de plantas minihidráulicas, así como para el aprovechamiento de la energía solar, térmica y fotovoltaica. Adicionalmente, se tienen estudios de campos geotérmicos ya identificados que no se han desarrollado y se cuenta con diversas fuentes de

biomasa que pueden ser aprovechadas como insumo energético directo o como materia prima para la producción de biocombustibles.

En este estudio hemos señalado la posibilidad de implementar medidas de mitigación para la disminución de CO₂ en la atmósfera a través del almacenamiento de este. La capacidad de los ecosistemas terrestres para funcionar como sumideros de carbono depende, de manera importante, del “efecto de fertilización” debido al aumento en la concentración del CO₂ en la atmósfera y a la deposición del nitrógeno atmosférico, que se ha emitido en exceso por diversas actividades humanas. El efecto de fertilización por el CO₂ es posible ya que su concentración atmosférica actual limita la capacidad productiva de las plantas. Existe evidencia de que dicho efecto de fertilización aumenta el crecimiento de las plantas en condiciones naturales, aunque no en las magnitudes en las que los estudios fisiológicos con plantas individuales y en condiciones controladas sugerían (Mooney *et al.* 1999). El efecto de la fertilización por nitrógeno se debe a que la disponibilidad de este elemento limita la productividad primaria de muchos ecosistemas terrestres (Schlesinger 1997).

Es importante considerar que las magnitudes que se calculan actualmente para los sumideros de carbono no operarán de manera constante en el futuro, ya que todos los procesos claves disminuirán. Por ejemplo, la captura de CO₂ por los bosques jóvenes que crecen en las tierras agrícolas disminuirá conforme éstos lleguen a la madurez. Igualmente, las respuestas a la fertilización por el CO₂ atmosférico y por la deposición de nitrógeno mostrarán una saturación fisiológica, al tiempo que también otros recursos se volverán limitantes. Más aún, se espera que los efectos del cambio climático sobre los ecosistemas reduzcan la capacidad de los sumideros a una escala global (Schimel *et al.* 2001). Es fundamental tomar en cuenta estas limitaciones de los sistemas biológicos de la Tierra al hacer consideraciones sobre el balance global de carbono en el futuro.

El manejo forestal y de los ecosistemas no puede resolver, por sí solo, el problema del calentamiento global. Las emisiones, junto con la deforestación de los trópicos y otros cambios en el uso del suelo, compensan sólo una pequeña porción de las emisiones provenientes de la quema de combustible fósil. No obstante, el manejo de carbono, junto con otras medidas en los ecosistemas tropicales pueden ser actores en un plan global de mitigación. Sin embargo, es difícil cuantificar su contribución.

Asimismo, debe notarse que el manejo de los ecosistemas tropicales puede tener otras funciones y metas aparte de resolver el problema del calentamiento global. Para una gran mayoría de las personas de los países en desarrollo, los árboles son la principal fuente de energía. La tierra de bosques es sustituida por la agricultura, para la producción de alimentos para una población constantemente creciente. Están surgiendo nuevos retos para el manejo sostenible de los bosques. Sin embargo, esto no implica que no se pueda hacer algo. De aquí la importancia de estos estudios que nos

permitan conocer el problema del Calentamiento de la Tierra y desarrollar herramientas que permitan soluciones a mediano plazo.

Se han recomendado diversas opciones de mitigación relacionadas al uso de la energía entre las que se contemplan, la instalación de plantas de generación de energía eléctrica con tecnología de ciclo combinado, pues se estima que para el 2010 se tendrá una capacidad instalada de 51,464 MW, de los cuales el 43% serán plantas de ciclo combinado y 5000 MW estarán a cargo de plantas eólicas (Caldera, 1997); motores eléctricos y calderas industriales más eficientes, cogeneración industrial, eficiencia en la iluminación del sector residencial y comercial, bombeo eficiente de agua potable, sustitución inter-modal (camiones y metro) para el transporte de la Ciudad de México.

Por otra parte también se han propuesto tres opciones de mitigación forestales, como lo es el manejo de bosques naturales como una alternativa para evitar la deforestación pues se calcula que la captura de carbono a largo plazo varía entre 618 y 763 toneladas de CO₂/ha (168 a 208 tonC/ha), para bosques templados y tropicales como deforestación evitada; otra opción es la reforestación para la restauración forestal ya que con esta medida se predice un incremento constante en la mitigación de 2.8 millones de toneladas de CO₂/año en el 2000 a 12.1 millones de toneladas de CO₂ /año en 2010; por ultimo se contemplan los sistemas agroforestales con los que se espera un aumento de 1.0 millón de toneladas de CO₂/año en el 2000 a 2.0 millones de toneladas de CO₂ /año en el año 2010 mitigados (Masera y Sheinbaum, 2004).

Es importante destacar que muchas de las opciones de mitigación forestales se pueden implementar a costos muy bajos, o incluso negativos, e implican ganancias netas en otros objetivos generales como la restauración de cuencas, generación de empleos e ingresos locales y otros beneficios. Los costos de implementación de las distintas opciones forestales se han estimado entre -3 dólares/tonC hasta 30 dólares/tonC, con una media cercana a los 10-15 dólares/tonC dependiendo de la opción forestal y son muy competitivos con el sector energético (Sheinbaum y Masera, 2004; Masera *et al.* 2001; De Jong *et al.* 2001, Adger *et al.* 1995; Rojas, 1999).

Según Masera y Sheinbaum (2004), de acuerdo con las diversas opciones de mitigación energéticas y forestales, se ha identificado un potencial de mitigación de 348.3 millones de toneladas de CO₂ para México en el año 2010. Si se lograra alcanzar, México aumentaría sus emisiones totales en 2% de 1990 al 2010, en lugar de incrementarlas en 69%. Las emisiones per cápita disminuirían en 30% en el mismo periodo (de 6.2 a 4.7 ton de CO₂/hab.), en lugar de un aumento de 26%.

El manejo forestal sustentable en bosques templados se presenta como la mejor opción de mitigación, seguido por las plantas de ciclo combinado y la cogeneración industrial. En el conjunto, el sector forestal aporta aproximadamente 65% de la mitigación al año 2010, y el sector energía, 45%. Es

importante destacar que las opciones energéticas analizadas constituyen un subconjunto del total de opciones disponibles, particularmente en el sector transporte.

Es importante destacar que el potencial de mitigación identificado no va a ser logrado de manera automática, para lograrlo es necesario esfuerzos firmes, constantes y duraderos en lo local, nacional y global. Localmente se necesita apoyar actividades, donde los beneficios al cambio climático sean subproducto de concretos beneficios económicos, sociales y ambientales, para lo cual se tendrán que contemplar estrategias integrales que combine aspectos institucionales, financieros y técnicos. Una de las principales barreras a vencer es el incremento en los costos de inversión asociados con las opciones de mitigación de carbono por lo que se necesitan de esquemas innovadores para reducir los altos costos y que los usuarios puedan pagar las inversiones en alternativas de mitigación de Gases de Efecto Invernadero.

De este modo, es necesario que en México se instrumenten diversas medidas para buscar separar el crecimiento económico del consumo de energía y de las emisiones de gases asociadas. Esto no parece posible concentrando la estrategia en una sola medida. Por el contrario, las simulaciones realizadas sugieren que ello sólo es posible realizando simultáneamente ajustes en los precios relativos, en la innovación tecnológica y en la composición del producto.

Todas las formas de generación de electricidad a gran escala afectan algún medio ambiental. Como ya se menciona la mayor parte de las emisiones de contaminantes atmosféricos del sector proceden de las centrales que utilizan carbón o petróleo como combustible, aunque las plantas que operan a base de gas natural emiten una gran cantidad de CO₂. Mientras que las centrales hidroeléctricas pueden desplazar comunidades enteras, destruir o degradar hábitat crítico (como arroyos o ríos) y dañar a las poblaciones nativas de especies silvestres y de peces. Las plantas nucleares representan riesgos de seguridad y salud en virtud de su operación, así como del transporte y almacenamiento del combustible usado. Incluso las instalaciones de energía eólica, dependiendo de su ubicación y de la tecnología empleada, pueden plantear cuestiones estéticas o de preocupación en relación con las aves silvestres (Sharp, 2002).

Sin embargo es importante resaltar que en los últimos años se ha tratado de impulsar a la energía nuclear como opción para fortalecer el sistema eléctrico del país. Algunos investigadores sostienen que para el año 2030, el uso de combustibles fósiles para generar electricidad significará 44 % de las emisiones totales de gases invernadero, mientras que la energía nuclear no produce esos contaminantes. Consideran que en el ámbito internacional, particularmente en los últimos cuatro años, se ha constatado que las plantas nucleoelectricas tienen costos competitivos respecto a las de ciclo combinado a base de gas natural, e inferiores a las demás opciones. Cuando se consideran los costos externos de generación eléctrica respecto a su impacto en la salud humana y en el medio ambiente, "la

energía nuclear se convierte en la mejor opción para suministrar electricidad de manera confiable, y con muy baja sensibilidad a cambios en los precios de los combustibles en el mercado internacional" (Martín del Campo y Francois, 2006).

Se ha considerado que la "nueva situación" de la energía nuclear para la generación de electricidad en México radica en que, cuando se comparan los costos totales nivelados de generación eléctrica a lo largo de la vida útil, se tiene que los costos de una planta nuclear son inferiores a los de cualquiera basada en otros combustibles (Bazan, 2005).

La protección ambiental no significa sólo ecología ni ingeniería ambiental, requiere de la participación de un sinnúmero de disciplinas del conocimiento humano. Inevitablemente, la sociedad se ve obligada a definir el ambiente que desea, quiere y puede tener; ésta es, por ende, sin exagerar, una etapa singular en la historia de la humanidad (Soberanes *et al*, 1997).

Lo anterior da pauta para enfatizar la importancia de la Evaluación del Impacto Ambiental (EIA), concebida como un instrumento de la política ambiental, analítico y de alcance preventivo, permite integrar al ambiente un proyecto o una actividad determinada; en esta concepción el procedimiento ofrece un conjunto de ventajas al ambiente y al proyecto, invariablemente, esas ventajas sólo son apreciables después de largos períodos de tiempo y se concretan en economías, en las inversiones y en los costos de las obras, en diseños más perfeccionados e integrados al ambiente y en una mayor aceptación social de las iniciativas de inversión. La EIA es una condición previa para definir las características de una actividad o un proyecto y de la cual derivan las opciones que permiten satisfacer la necesidad de garantizar la calidad ambiental de los ecosistemas donde estos se desarrollarán. Con la evaluación de impacto ambiental, se garantiza que los proyectos de inversión sean sustentables al incluir la variable ambiental en su costo y garantizar la posibilidad de la participación social.

Los proyectos de centrales térmicas con tecnología de ciclo combinado, en la actualidad se han incrementado y han solicitado autorización administrativa para su ejecución de aquí la importancia de adoptar las medidas necesarias para que las autoridades competentes se cercioren de que la explotación de las instalaciones se efectúe en forma que se apliquen las mejores técnicas disponibles, que no se produzca una contaminación importante, que se evite la producción de residuos y si esto no fuera posible, se reciclen o se eliminen, evitando o reduciendo su repercusión sobre el medio ambiente, que se utilice la energía de manera eficaz, que se tomen las medidas para prevenir los accidentes graves y limitar sus consecuencias.

Para alcanzar los objetivos mencionados anteriormente es importante tener muy en cuenta la ubicación de las centrales eléctricas de manera que garantice el abastecimiento de combustible, la evacuación de la energía eléctrica y el suministro de agua. Así la ubicación óptima es aquella que

minimiza los costes asociados a las infraestructuras necesarias para los tres factores anteriores, con un impacto ambiental reducido.

Por otra parte desde el punto de vista ambiental, la ubicación debe favorecer la dispersión de los contaminantes atmosféricos con un régimen de vientos adecuados, localizarse a suficiente distancia de enclaves singulares que gocen de protección para sus valores ecológicos y en terrenos con niveles poco significativos de riesgos naturales (inundaciones) y con una capacidad de acogida suficiente. Otro factor a considerar (para aquellas centrales que se ubiquen cerca de la costa) es la cota sobre mar del emplazamiento: la ubicación en cotas elevadas disminuye el rendimiento de la planta al descender la presión con la altura y aumentar los requerimientos de compresión del aire necesario para la combustión. También se consideran otras cuestiones como la preferencia por suelo industrial o la acogida social del proyecto.

Al realizar una evaluación de impacto ambiental para una central eléctrica debe hacerse énfasis en los siguientes aspectos: elaborar un estudio de la calidad del aire en el estado preoperacional constituye un factor clave en el inventario, ya que el principal impacto de las centrales es la afección a la calidad del aire debido a las emisiones atmosféricas (CO₂, SO₂ NO_x y Hg). Se deben recopilar los datos registrados en los últimos años en las estaciones de control de contaminación atmosférica situadas en el ámbito de estudio y compararlos con la normativa sobre niveles límite y guía de concentraciones de contaminantes en el ambiente. Si no existen estaciones en el ámbito de estudio, resulta conveniente realizar campañas de muestreo para estimar la situación preoperacional en lo que a contaminación atmosférica se refiere. Este estado, permite conocer el margen existente entre la situación previa al proyecto y los valores límite y guía de la calidad del aire, y por tanto, el incremento máximo que la central puede ocasionar sobre los niveles de contaminantes en el aire, con el objetivo de que no se produzcan superaciones de estos valores como consecuencia de su operación.

El clima constituye otro aspecto fundamental, no tanto en la medida en que puede ser afectada por el funcionamiento de la planta, sino el papel que juega en la dispersión de las emisiones atmosféricas. En primer lugar, se procede a localizar las estaciones meteorológicas situadas en el entorno del proyecto y proceder a la recopilación de los datos (velocidad y dirección de viento, radiación solar, temperaturas, nubosidad, presión, humedad, precipitaciones, etc.) registrados en estas estaciones para un período de tiempo representativo (10 años puede ser suficiente). Las variables disponibles dependerán del tipo de estación que se trate (automática, sinóptica, termopluviométrica,). La velocidad y dirección del viento constituyen las variables claves en la dispersión de las emisiones atmosféricas, debiendo contrastarse la representatividad de los datos recopilados, analizando rosas de vientos y su coherencia con la topografía de la zona (López, 2002).

Otro factor importante es el agua, la influencia del proyecto sobre está depende del sistema de refrigeración adoptado, en la medida que determina los requerimientos de agua de la central y la magnitud de los vertidos líquidos. Según el sistema de refrigeración elegido, el estudio sobre el medio acuático debe ser más o ajenos o menos detallado. Para el caso de refrigeración con agua en circuito abierto (ciclos combinados) se requieren aproximadamente 30.000 m³/h para la refrigeración de cada grupo de 400 MW, cantidad que sólo puede ser tomada, sin afectar notablemente el balance hídrico, de zonas costeras. En este caso, debe estudiarse con detalle la dinámica de corrientes y la distribución de temperatura y salinidad del agua de mar en el entorno de la central, ya que estos parámetros, junto a la morfología de la costa y la batimetría, determinarán la dilución del vertido de agua de refrigeración. Para el caso de refrigeración en circuito cerrado mediante torres o con aire mediante aerocondensadores, la afección sobre el medio acuático es más reducida. En cualquier caso, debe analizarse el balance hídrico de la zona y la calidad fisicoquímica y biológica del agua frente los criterios de calidad establecidos en la legislación.

Los usos del suelo en torno al emplazamiento constituyen otro factor del medio importante, ya que reflejan la estructura socioeconómica de la zona y su valor ecológico. El análisis se centra en la identificación de usos residencial, turístico e industrial. La presencia de núcleos urbanos y cultivos con mayor o menor sensibilidad a la contaminación atmosférica y localización de espacios naturales protegidos.

Finalmente y de suma importancia se recomienda que al elaborar la EIA, se tomen en cuenta los siguientes aspectos: determinar la contribución de las emisiones de la planta a los niveles de inmisión, se deben evaluar los efectos sobre el medio ambiente. Para ello, como complemento a la comparación de los resultados obtenidos en la aplicación de los modelos de dispersión con la legislación vigente en materia de contaminación atmosférica, es conveniente revisar la bibliografía existente al respecto. Para ello, se pueden tomar como referencia las publicaciones de Criterios de Salud Ambiental de la Organización Mundial de la Salud. En estas publicaciones podemos encontrar monografías actualizadas sobre los efectos de óxidos de nitrógeno, dióxido de azufre, partículas, bióxido de carbono sobre la salud humana, la vegetación y la fauna.

En el caso de centrales de ciclo combinado en los que se opta por la refrigeración con agua en circuito abierto, la toma y vertido de agua de refrigeración resulta el impacto ambiental (incremento de temperatura del agua que recibe el vertido y atrapamiento de especies acuáticas en el sistema de toma) más significativo tras las emisiones atmosféricas, debido a la magnitud del caudal necesario. Para, sistemas de refrigeración con agua en circuito cerrado, el impacto es menos importante, debiendo centrarse el estudio en la formación de penachos visibles y deposición de sales en el entorno debido a las torres de refrigeración. En el caso de refrigeración por aire mediante aerocondensadores los únicos

impactos significativos son el ruido de los ventiladores, la posible formación de un microclima debido a la masa de aire caliente emitida a la atmósfera y, en menor medida, el impacto visual que produce el tamaño de los aerocondensadores.

Una vez identificado los impactos, es necesario identificar las medidas previstas para reducir, eliminar o compensar los efectos ambientales negativos significativos. Para la fase de construcción podemos considerar los siguientes:

- realizar señalización y balizamiento de la zona de obras. Habilitar áreas específicas para mantenimiento, repostaje y lavado de maquinaria;
- revegetación de zona afectada por las obras, descompactación de terreno afectado por obras;
- riego de superficies pulverulentas expuestas al viento o a tráfico de maquinaria pesada;
- sistema de recogida y tratamiento de efluentes líquidos;
- en caso de obra marítima, minimizar dispersión de sedimentos marinos efectuando los trabajos en el interior de recinto de geomembrana,
- sistema de recogida de goteos aceitosos de maquinarias;

En cuanto a la fase de operación y diseño se han considerado:

- la minimización de emisiones de óxidos de nitrógeno con quemadores de bajo NO_x en turbinas de gas y comprobación periódica del correcto funcionamiento de quemadores de bajo NO_x;
- control en continuo del caudal y salto térmico del agua de refrigeración, control en continuo o periódico de la calidad efluentes líquidos distintos al agua de refrigeración;
- determinación de altura óptima de chimenea para mejorar dispersión de contaminantes;
- utilización de pantallas acústicas, aislamiento y cerramientos de atenuación acústica;
- empleo de torres de refrigeración de tipo híbrido para disminuir consumo de agua y formación de penachos visibles;
- sistema de toma y bombeo de agua dotado de dispositivos para reducir impacto por entrada de organismos al sistema y mantenimiento adecuado de equipos;
- sistema de tratamiento de efluentes líquidos, segregación de aguas no contaminadas y reutilización de efluentes líquidos;
- segregación, etiquetado y clasificación de residuos según tipo, envasado adecuado y almacenamiento temporal en sitios específicos y reciclaje de residuos en la propia planta;
- empleo de técnicas de mimetización para reducción del impacto visual. Selección adecuada de colores y acabados para su máxima integración en el entorno;
- instalación de pantallas vegetales con especies autóctonas y barreras visuales, como montículos de arena, para reducir visión de equipos y estructuras principales.

Aunado a esto se recomienda implementar algunos mecanismos compensatorios como medidas de mitigación, como es reforestar las superficies afectadas por las acciones de construcción de las instalaciones eléctricas o superficies equivalentes en otras áreas.

De acuerdo a nuestro análisis hemos llegado a la conclusión que para los diferentes tipos de plantas de energía eléctrica (termoeléctricas, ciclo combinado eoelectricas, hidroeléctricas, etc.); se deben desarrollar guías de EIA, independientes para cada una de ellas, ya que cada una presentan diferentes impactos al ambiente.

El dilema es consolidar una industria eléctrica ambientalmente sana, con altos índices de eficiencia y competitividad, y a la vez abastecer la creciente demanda originada por el incremento de las actividades económicas y de la población. En otras palabras, se trata de profundizar la aplicación del concepto del desarrollo sustentable al sector eléctrico. El futuro de la relación ambiente-energía tiende a ser cada vez más vinculante. Las normas ambientales establecerán límites y tendencias al sector energético, estrategias, en materia de protección ambiental, y el ahorro y conservación de recursos naturales, para el logro del desarrollo sustentable.

En México se ha intentado dar las primeras pinceladas para reflexionar sobre la necesidad de perfeccionar las herramientas jurídicas (teóricas o practicas) requeridas para combatir, controlar, o prevenir las acciones que originan un desequilibrio atmosférico (que llamamos contaminación atmosférica) en detrimento no solo de esos ambientes natural y artificial, sino de quienes son los principales causantes de ello: los seres humanos.

El desarrollo de la normatividad para el caso de la contaminación atmosférica se ha producido a partir de una combinación de factores que incluyen el aumento de la actividad industrial, la intensificación de ciertas actividades productivas y no productivas (como la explotación de recursos renovables y no renovables), el crecimiento poblacional, la urbanización, y la llegada de los vehículos automotores y su uso indiscriminado. Algo de lo que ha caracterizado a este período de más de dos siglos es que la regulación atmosférica ha estado vinculada en mucho a cuestiones sanitarias o de salud pública (Loperena Rota 1994). Los cuerpos jurídicos relacionados con el fenómeno atmosférico han empezado ahora a formar parte también de la nueva normatividad ambiental. En efecto, la llamada dimensión ambiental que se derivo del surgimiento del movimiento ambientalista moderno de la década de los sesenta y setenta del siglo XX se inserto de inmediato en la forma y estructuración de las normas jurídicas sobre contaminación atmosférica urbana (Nava, 2004).

Aunque México sea parte contratante en la mayoría de los principales documentos vinculantes que existen en materia de capa de ozono y cambio climático, las leyes ambientales no se han ocupado mucho de ellos. No obstante el tiempo que ha transcurrido desde que México suscribió dichos instrumentos internacionales, el Gobierno Mexicano y los legisladores de los últimos años no han

incorporado estos temas atmosféricos en la legislación mexicana como se debiera y tampoco se les ha dado la importancia necesaria a estos y sin embargo forman parte del ordenamiento jurídico nacional.

México requiere de un marco normativo que dé sustento legal y fomente el uso de fuentes alternas de energía, en especial las renovables. Para tal efecto, la Cámara de Diputados y el gobierno federal han preparado una iniciativa de *Ley para el Aprovechamiento de las Fuentes Renovables de Energía*, que fue dictaminada favorablemente por la Cámara de Diputados. Esta iniciativa de Ley está dirigida tanto hacia la generación de electricidad en conexión con la red, como a otras aplicaciones, como la generación de electricidad en sitios aislados, el aprovechamiento térmico de la energía solar o geotérmica, la producción de combustibles a partir de la biomasa entre otros. Además esta iniciativa contempla que los proyectos de generación de electricidad a partir de fuentes renovables de energía pueden ser desarrollados por las propias empresas paraestatales, por lo que se les da un papel esencial a la Comisión Federal de Electricidad y a Luz y Fuerza del Centro, al establecer porcentajes mínimos de participación de estas fuentes en la generación de electricidad.

Pero los nuevos planteamientos ambientales no solo han sido en estas últimas décadas fundamentales para la regulación jurídica de la atmósfera urbana, sino que han sido la base en la elaboración de sendos cuerpos normativos de derecho duro o vinculante a nivel internacional sobre cuestiones atmosféricas de reciente aparición. La influencia de la normatividad internacional ambiental en el desarrollo de la regulación atmosférica interna de los países a su vez es ya innegable. Aquí es importante recalcar que la Normatividad Mexicana con la que contamos es para regular contaminantes críticos (calidad de aire), pero no existe una normatividad de control de CO₂, por lo que creemos que es de suma importancia empezar a tomar acciones específicas para obtener dicha norma, no olvidemos que el CO₂, es uno de los principales GEI's y que es necesario tener un documento con el que podamos controlar las emisiones de este gas.

CONCLUSIONES

Como hemos visto los cambios globales forman parte de la dinámica natural de nuestro planeta; sin embargo, el hombre está acelerando esos cambios y en muchos casos los está redirigiendo. La Tierra a través de la historia ha desarrollado mecanismos de adaptación naturales como respuesta a estos cambios; sin embargo, en la actualidad y en un futuro cercano estos son y serán demasiado rápidos y bruscos, por lo que difícilmente los ecosistemas y las especies se adaptarán a esa velocidad.

Aunque la contribución de México al Cambio Climático sea poco significativa a nivel mundial, ya que contribuye con menos del 1.5% de las emisiones globales de CO₂ (principal gas de efecto invernadero), el país figura entre los mayores emisores de los países en desarrollo y es altamente vulnerable a sus efectos, sin embargo el gobierno mexicano cuenta, dentro de su estructura operativa, con diversas unidades administrativas enfocadas a la investigación en materia del Cambio Climático, así como a la promoción e implementación de proyectos para reducir las emisiones de GEI's, pero aún es necesario seguir estructurando planes y acciones que nos lleven a combatir y sobretodo a mitigar el calentamiento global de la Tierra.

La industria y en especial el sector eléctrico ha sido un sector poco estudiado en términos de su sensibilidad climática, en virtud de la percepción de su relativamente baja sensibilidad y de su gran poder de adaptación al cambio climático. El sector eléctrico mexicano ha captado la atención tanto de la ciudadanía como de las autoridades y se ha hecho énfasis de la importancia que tiene este sector para el desarrollo social y económico del país. Por lo que es urgente tomar medidas para cuantificar las emisiones de las centrales eléctricas, en este trabajo se analizan todo una serie de datos de emisiones de los contaminantes CO₂, NO_x, SO₂ y Hg producto de la utilización de combustibles fósiles en su mayoría en la generación de energía eléctrica para las 32 entidades federativas, siendo el CO₂ el contaminante que mas se emite (Capitulo 4).

Las estimaciones de escenarios de cambio climático propuestas para México predicen que el clima del país a la mitad del presente siglo será en términos muy generales más cálido (2 a 3 °C) y algo más seco en la región norte y centro del país donde prevalecen los climas áridos y semiáridos. Estos cambios se prevén para cuando se dupliquen los niveles de concentración de los gases de efecto invernadero. Si bien ya hay algunas señales del impacto de este cambio gradual en las actividades agrícolas y en los bosques, al correspondiente impacto en las ciudades se suma el efecto de la urbanización. El resultado es que el calentamiento del aire en las áreas urbanas está ocurriendo con mayor rapidez que el originado por el efecto invernadero.

Se estima que los tipos de vegetación más afectados en México serán los bosques templados, los bosques tropicales y los bosques mesófilos de montaña lo que implicará un cambio en la distribución de las especies que habitan en esos ecosistemas. Se sabe que una modificación en el área de cobertura de los tipos de vegetación, ya sea una contracción o una expansión, necesariamente traerá como consecuencia una nueva distribución espacial de las especies.

El dióxido de carbono es el gas más importante en el efecto invernadero y, por lo tanto, uno de los responsables del posible calentamiento global. Sin embargo, se tienen todavía incertidumbres que resultan relevantes sobre las emisiones y captura de este gas, particularmente en los ecosistemas forestales. Por esta razón, se requiere de estudios de caso a nivel regional que permitan obtener datos más precisos sobre los flujos y almacenes de este gas en los bosques y selvas. Estos estudios permitirán, por un lado, estimar más precisamente las densidades de carbono asociadas a las distintas clases de vegetación y, por el otro, desarrollar métodos de cuantificación y predicción sobre el comportamiento de los procesos de emisión captura de carbono bajo diferentes dinámicas de cambio de uso del suelo y de esta forma poder ofrecer opciones de mitigación de gases de efecto invernadero en el corto, mediano y largo plazo, aunado a la posible venta de un servicio ambiental, tomando en cuenta que la captura de carbono nos permitirá contribuir directamente en la mitigación del cambio climático.

Antes, se desconocía el efecto y el costo total de estas afectaciones, desde la prospección del recurso energético hasta la generación de electricidad, cierre, desmantelamiento y saneamiento de la planta. Y hoy en día es de suma importancia los aspectos ambientales pues son un factor determinante en la elección de las fuentes de energía de cada país, ya que repercute en las relaciones bilaterales y conlleva en algunos casos a requerir la modificación o descalificar proyectos de infraestructura energética de otras naciones, a fin de aminorar las afectaciones de sus plantas generadoras de electricidad en solidaridad.

Del conjunto de oportunidades de generación de electricidad disponibles en México, las basadas en la energía nuclear en conjunción con las renovables, podría ser la opción más viable; conforme a los nuevos avances tecnológicos y de mercado de los energéticos analizados en perspectiva global y nacional. Su desarrollo en el país requiere de un cambio radical en la forma de pensar, un reto para asumir tecnologías más avanzadas que requieren de miles de profesionistas y técnicos calificados en todas las áreas. Representa en síntesis, la mejor forma de impulsar un gran número de actividades tecnológicas, de mercado, comercial, bursátil y desarrollo de centros de investigación en el país.

También en este estudio enfatizamos la importancia de la Evaluación del Impacto Ambiental, ya que nos da una condición previa para definir las características de una actividad o un proyecto y de

la cual derivan las opciones que permiten satisfacer la necesidad de garantizar la calidad ambiental de los ecosistemas donde estos se desarrollarán. Con la evaluación de impacto ambiental, se garantiza que los proyectos de inversión sean sustentables al incluir la variable ambiental en su costo y garantizar la posibilidad de la participación social. Aunque en México se cuenta con guías generales para estudios del impacto ambiental de estos proyectos, es necesaria la colaboración de la Secretaría del Medio Ambiente, la CFE y asociaciones civiles para el desarrollo de metodologías más adecuadas para la evaluación socioambiental de estos proyectos.

De acuerdo a lo anterior hemos llegado a la conclusión que para los diferentes tipos de plantas de energía eléctrica (termoeléctricas, ciclo combinado eoelectricas, hidroeléctricas, etc.); se deben desarrollar guías de EIA, independientes para cada una de ellas, ya que cada una presentan diferentes impactos al ambiente.

Aunado a esto se recomienda implementar algunos mecanismos compensatorios como medidas de mitigación, como es reforestar las superficies afectadas por las acciones de construcción de las instalaciones eléctricas o superficies equivalentes en otras áreas. El manejo forestal sustentable en bosques templados se presenta como la mejor opción de mitigación, seguido por las plantas de ciclo combinado y la cogeneración industrial. En el conjunto, el sector forestal aporta aproximadamente 65% de la mitigación al año 2010, y el sector energía, 45%.

La legislación ambiental es el marco de referencia para proteger el ambiente. Sin embargo, no debe confundirse esa labor de protección con los trámites legales y administrativos. La protección ambiental debe ser parte integral de la planeación, diseño, construcción y operación de las obras eléctricas. En la generación de energía eléctrica se debe reforzar la actitud propositiva para proteger al ambiente. De igual forma es necesario establecer un marco normativo que regule las emisiones de CO₂, ya que esto no está contemplado en la normatividad vigente.

Se requiere un proceso de culturización en materia de protección ambiental y aprovechamiento racional de los recursos naturales. Si se tiene éxito, y ésta es una interrogante de la mayor trascendencia para el desarrollo del sector, se podrá asegurar un desarrollo sustentable.

LITERATURA CITADA

- Acosta y Asociados. Preliminary Atmospheric Emissions Inventory of Mercury in Mexico. Elaborado para la Comisión para la Cooperación Ambiental. 30 de mayo de 2001. En línea en http://www.cec.org/files/PDF/POLLUTANTS/MXHg-airmaps_en.pdf.
- Adger, W.N., K. Brown, R. Cervigni y D. Moran 1995. "Total economic value of forest in Mexico". *Ambio* 24: 286-296.
- Aguilar, Guillermo, 1995. Vulnerabilidad de los asentamientos humanos ante el cambio climático, Estudio de País: México.
- Aguilar, A. G. 2000. Los asentamientos humanos y el cambio climático en México. Un escenario futuro de vulnerabilidad regional. En: C. Gay (comp.) *México: una visión hacia el siglo XXI. El cambio climático en México. Resultados de los estudios de la vulnerabilidad del país, coordinados por el INE con el apoyo del U.S. Country Studies Program*, México: INE, SEMARNAP, UNAM, U.S. Country Studies Program.
- Apps, M.J., W.A. Kurz, R.J. Luxmoore, L.O. Nilsson, R.A. Sedjo, R. Schmidt, L.G. Simpson, y T.S. Vinson, 1993. Boreal Forests and Tundra. In Wisniewski, J. y R.N. Sampson (Eds). *Terrestrial Biospheric Carbon Fluxes: Quantification and Sources of CO₂*. Kluwer Academic Publishers, Netherlands, pp. 39-53.
- Apps, M.J. 2003. Bosques, el ciclo mundial del carbono y el cambio climático. Recursos Naturales del Canadá, Servicio Forestal del Canadá, Pacific Forestry Center, 506 West Burnside Road, Victoria, BC, V8Z 1M5, Canada.
- Arriaga, C. L., M. L. Gómez y A. T. Feria. 2001. Distribución de especies diagnósticas del bosque de coníferas y encinos bajo escenarios de cambio climático. En: XV Congreso Mexicano de Botánica.
- Arriaga, L y L. Gómez. 2004. Posibles efectos del cambio climático en algunos componentes de la biodiversidad de México. En: Martínez J., A. B. Fernandez & P. Osnaya (comp). *Cambio Climático una visión desde México*. INE. SEMARNAT. México D.F.
- Bachelet, D., R.P. Neilson, J.M. Lenihan and R.J. Drapek. 2001. Climate change effects on vegetation distribution and carbon budget in the United States. *Ecosystems*. 4:164-185.
- Bazzaz, F.A. 1996. *Plants in Changing Environments. Linking physiological, population, and community ecology*. Cambridge University Press. 320 pp.
- Beer, J.M. 2000. Combustion technology development in power generation in response to environmental challenges. *Progress in Energy and Combustion Science* 26: 301–327.
- Bellón, M.R., O.R. Masera y G. Segura 1993. Response options for sequestering carbon in Mexican forests. Reporte al F-7 International Network on tropical Forestry and Global Climatic Change, Energy and Environment Division, Lawrence-Berkeley Laboratory, Environmental Protection Agency, Berkeley.

- Boyd, S. 1991. Global Warming & Energy Choices. Concern. Inc 38 pp.
- Brañes B. R. 1994. Manual de derecho ambiental mexicano. Fondo de Cultura Económica, México.
- Brown, S., Ch. Hall, W. Knabe, J. Raich, M. Trexler, y P. Woomeer, 1993. Tropical Forest: their Past, Present and Potential Future Role In The Terrestrial Carbon Budget. Water, Air and Soil Pollution, 70, pp. 71-94
- Brown J.H., T.J. Valone and C.G. Curtin. 1997. Reorganization of an arid ecosystem in response to recent climate change. Proc. Natl. Acad. Sci. Vol. 94:9729-9733.
- Buse, A., S.J. Dury, R.J.W. Woodburn, C.M. Perrins and J.E.G. Good. 1999. Effects of elevated temperature on multi-species interactions: the case of Pedunculate Oak, Winter Moth and Tits. Functional Ecology 13 (Suppl. 1): 74-82.
- Caldera, E. 1997. Wind large scale generation potential for Mexico. Pp. 65-76. In: C. Sheinbaum (coord.). *Final Report to the USAID-Support to the National Climate Change Plan for Mexico*. México: Instituto de Ingeniería, Report 6133, UNAM.
- Climate Change Information Kit, 2004. unfccc.int/resource/docs/publications/infokit_2004_sp.pdf.
- CDB, 2007. Convenio sobre la diversidad biológica. Cambio Climático y diversidad biológica. PNUMA. www.biodiv.org
- CICC, 2006. Comisión Intersecretarial del Cambio Climático. Semarnat. Presentación pdf.
- CMMAD. 1987. Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo, Nuestro futuro común, p. 25. Alianza Editorial, Madrid.
- CMM, 2007. Hacia una estrategia nacional de acción climática para el sector energía. www.mariomolina.org.
- CMNUCC. Feeling the Heat; acceso en línea: http://unfccc.int/essential_background/feeling_the_heat/items/2918.php
- Coakley, S.M. 1999. Climate change and plant disease management. Annu. Rev. Phytopathol. 37:399-426.
- Conde, C., D. Liverman, M. Flores, R. Ferrer, R. Araujo, E. Betancourt, G. Villareal, y C. Gay. 1997a. Vulnerability of rained maize crops in Mexico to climate change. Climate Research, 9, 17.
- Consejo Empresario Argentino para el Desarrollo Sostenible, CEADES. 1998. Convención del Cambio Climático: Protocolo de Kioto. Interpretación de los temas más relevantes a ser tratados en la conferencia de las Partes COP4, Buenos Aires, Nov.8-12, 1998. Buenos Aires, Argentina.

- CCA (Comisión para la Cooperación Ambiental), 1997. Rutas Continentales de los Contaminantes. Montreal, Canadá. www.cec.org.
- CRE, 2004. Comisión Reguladora de Energía. www.cre.gob.mx.
- Crowley, T. J. y G. R. North. 1988. Abrupt Climate Change and Extinction events in Earth History. *Science* Vol 240 (4855) pp 996 – 1002.
- Crowley, T. J. 1989. in Berger *et al.* Climate and the Geo Science. Kluwer.
- CONAE, 2004. Comisión Nacional para el Ahorro de Energía. www.conae.gob.mx.
- De Jong, B. H. J., G. Montoya-Gómez, K. Nelson, L. Soto-Pinto, J. Taylor y R. Tipper 1995. "Community Forest Management and Carbon Sequestration: a Feasibility Study from Chiapas, Mexico" *Interciencia* 20(6): 409-416.
- De Jong, B. H.J., L. Soto P., G. Montoya G., K. Nelson, J. Taylor y R. Tipper 1996. "Forestry and agroforestry alternatives for carbon sequestration: an analysis from Chiapas, México". Draft Procc. Workshop on "Instruments for Global Warming Mitigation: The role of Agriculture and Forestry" Trento, Italia, 22 al 25 de mayo, pp 147-159.
- De Jong, B., M.A. Cairns, N. Ramírez-Marcial, S. Ochoa-Gaona, J. Mendoza-Vega, P.K. Haggerty, M. Gonzalez-Espinosa y I. March-Mifsut, 1998. Land-use change and carbon flux between the 1970s, and 1990s in the central highlands of Chiapas. México. *Environmental Management* (Aceptado el 4 de junio de 1998).
- De Jong, B., Tipper R., Montoya-Gómez G. 2001. An economic análisis of the potential for carbon sequestration by forests: evidence from southern Mexico. *Ecological Economics* 33(2): 313-327.
- Del Río, J. A. 2000. Evaluación financiera del proyecto de captura de carbono Scolel-Té implementado en comunidades indígenas de Chiapas: Beneficios o pérdidas que genera para dichas comunidades. Tesis de titulación, CIDE, México.
- Delso, M. C. 2001. Energía Eléctrica y Medio Ambiente. Medio Ambiente ENDESA. España.
- Diaz-Bautista, A. 2004. Análisis del Manejo de la Demanda Regional y el Cambio Estructural en el Sector Eléctrico en México. En red: www.redem.buap.mx/acrobat/alex5.pdf
- Dixon, R.K., K.J. Andrasko, F.G. Sussman, M.A. Lavison, M.C. Trexler y T.S. Vinson 1993. "Forest sector carbon offset projects: near term opportunities to mitigate greenhouse gas emissions." *Water, Air and Soil Pollution* 70:561-577.
- Dixon, R.K., S. Brown, R.A. Houghton, A.M. Solomon, M.C. Trexler, y J. Wisniewski, 1994. Carbon Pools and Flux of Global Forest Ecosystems. *Science*, 263, pp. 185-190.
- Dudley, N. 1998. Forests and climate change. A report for WWF Internacional, Forest Innovations, IUCN, GTZ, WWF.

- Environmental Protection Agency. www.epa.gov/globalwarming
- EPA. 1998. Compilation of air pollutant emission factors, volume 1: Stationary point and area sources, fifth edition, AP-42. US Environmental Protection Agency, Office of Air Quality Planning and Standards. Research Triangle Park, Carolina del Norte.
- Eттerson, J. R and R.G. Shaw. 2001. Constraint to adaptive evolution in response to global warning. *Science*. Vol. 294:151-154.
- Evenson R.E. 1999. Global and local implications of biotechnology and climate change for future food supplies. *Proc. Natl. Acad. Sci*. Vol. 96(11):5921-5928.
- Farquhar G. D. 1997. Climate change: carbon dioxide and vegetation. *Science* Vol. 278 (5342):1411.
- Fedorov A.V. & S.G. Philander. 2000. Is El Niño changing? *Science* Vol. 288:1997-2002.
- FENARCA, 2001. Reducción de Emisiones de Carbono: Una Guía para Empresarios de Energía Renovable. Financiamiento de Empresas de Energía Renovable en Centroamérica. San José Costa Rica. 68 p.
- Field C.H., F.S. Chapin III, P.A. Matson and H.A. Mooney. 1992. Responses of terrestrial ecosystems to the changing atmosphere: a resource-based approach. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 23:201-235.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2000. State of the World's forests 1997. FAO, Roma, Italia.
- Fortlage. C.A. (1990). Environmental assessment a practical guide. Gower Technical. Great Britain.
- Galindo M. 2004. El cambio climático global y la economía mexicana. En: Martínez J., A. B. Fernandez & P. Osnaya (comp). Cambio Climático una visión desde México. INE. SEMARNAT. México D.F.
- García O., F. y A. Ordóñez. 1999. El Papel de los suelos forestales en la captura de carbono. Enviada a Nuestros Bosques.
- Gardinier L, 2004. Windows to the universe. www.windows.vcor.edu.
- Garduño, R. 1994. El veleidoso clima. Fondo de Cultura Económica. México D. F.
- Gay, C. y J. Martinez. 1995. Mitigation of Emissions of Greenhouse Gases in Mexico. *Interciencia*, 20:6, pp. 336-342.

- Gay, C., Ruiz, S.L. Imaz M, Conde C, Mar B (eds) (1996). México ante el Cambio Climático. Memorias del Segundo Taller de Estudio de País. México INE/SEMARNAP U.S. Country Studies Program, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F.
- Gay, C. (comp.). 2000. México: una visión hacia el siglo XXI. El cambio climático en México. Resultados de los estudios de la vulnerabilidad del país, coordinados por el INE con el apoyo del U.S. Country Studies Program. México: INE-SEMARNAP, UNAM, U.S. Country Studies Program.
- Gilpin, A. (1995). Environmental impact assessment: cutting edge for the twentyfirst century. Cambridge University Press.
- Gonzalez, E. M.; E. Jurado; S. González; O. Aguirre; J. Jiménez y J. Navar. 2003. Cambio climático Mundial: Origen y Consecuencias. Ciencias UANL 6(3): 377-385.
- Goudie, A. 1990. The Human Impact on the Natural Environment. Basil Blackwell Ltd, Oxford, U.K. 3th Edition. 388 pp.
- Hellberg M.E., D.P. Balch and Roy. 2001. climate-driven range expansion and morphological evolution in a marine gastropod. Science. Vol. 292:1707-1710.
- Hellier G. 2000. Edinburg Center for Carbon Management (ECCM). Comunicación Personal. (<http://www.eccm.uk.com/>).
- Hernández, C. M. E., Torres, T. L. A. y Valdez, M. G. 1995. Sequía Meteorológica. Pp. 25-40. En: C. Gay (comp.) *México: una visión hacia el siglo XXI. El cambio climático en México. Resultados de los estudios de la vulnerabilidad del país, coordinados por el INE con el apoyo del U.S. Country Studies Program*, México: INE, SEMARNAP, UNAM, U.S. Country Studies Program.
- Houghton, R.A. y C.M. Woodwell. 1989. Global Climate Change. Scientific American, 260:4, 36-40
- Houghton, J. T., B. A. Callander, S. K. Varney, (eds.), 1992, Climate Change 1992. The Supplementary report to the IPCC scientific assessment, WMO, UNEP, IPCC Cambridge University Press, p. 16.
- Houghton, R.A. 1996. Land-use change and terrestrial carbon: the temporal record. En Forest Ecosystems, Forest Management, and the Global Carbon Cycle. NATO ASI Series, Serie I: Global Environmental Change, 40. Alemania.
- Houghton, R. A. 2000. Interannual variability in the global carbon cycle. J. of Geophys. Res. 105: 20121-20130.
- Houghton, R. A. 2003. Why are estimates of the terrestrial carbon balance so different? Global Biogeochemical Cycles. En prensa (aceptado 2003).

- Hughes, L. 2000. Biological consequences of global warming: is the signal already apparent?. *Trends Ecol. Evol.* 15(2):56-61.
- ICCMEX, 2007. Oportunidades de negocios en la implementación de proyectos de reducción de gases de efecto invernadero. www.iccmex.org.mx.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 1990. *Climate Change 1990. The Supplementary Report to the IPCC Scientific Assessment.* Cambridge University Press, Cambridge.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 1992. *Climate Change 1992. The Supplementary Report to the IPCC Scientific Assessment.* Cambridge University Press, Cambridge.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 1995. *Climate Change 1995. The Supplementary Report to the IPCC Scientific Assessment.* Cambridge University Press, Cambridge.
- IPCC. 2001. Working Group I and II. *Climate Change 2001. Impacts, Adaptation and Vulnerability.* J. J. McCarthy, O. F. Canziani, N. A. Leary, F. J. Dokken, K.S. White (eds.). Cambridge University Press. 1,032 p.
- IPCC. 2007. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Scientific Assessment. Cambridge University Press, Cambridge.
- IEA 1998. (International Energy Agency). *CO2 Emissions from Fuel Combustion.* Paris: IEA.
- IEA 2006. (International Energy Agency). *Key statistics.* Paris: IEA.
- INE, 2000 Estrategia Nacional de Acción Climática. SEMARNAP. INE. México.
- Instituto de Investigaciones Eléctricas. 2007. www.iae.org.mx
- Inouye D.W., B. Barr, K. B. Armitage & B. D. Inouye. 2000. Climate change is affecting altitudinal migrants and hibernating species. *PNAS.* Vol. 97(4): 1630-1633.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2001) *Climate Change 2001: The Scientific Basis.* (Houghton, J.T. et al. eds), Cambridge University Press.
- Iverson, L.R. and A.M. Prasad. 2001. Potential changes in tree species richness and forest community types following climate change. *Ecosystems* 4:186-199.
- Jaramillo, V. 2004. El ciclo global del Carbono. En: Martínez J., A. B. Fernandez & P. Osnaya (comp). *Cambio Climático una visión desde México.* INE. SEMARNAT. México D.F.

- Jones, P.D.; T.J. Osborn; K.R. Briffa. 2001. The evolution of climate over the last millennium. *Science* 292 (5517): 662-667.
- Joos F., G.K. Plattner, T. F. Stocker, O. Marchal and A. Schmittner. 1999. Global warming and marine carbon cycle feedbacks on future atmospheric CO₂. *Science*. Vol. 284:464-467.
- Kasting, J.F. 1998. The carbon cycle, climate, and the long-term effects of fossil fuel burning. *Consequences, the nature & implications of environmental change*. Vol.4, N°1. <http://prod.gcrio.org/CONSEQUENCES/vol4no1/carbcycle.html>
- Kerr R.A. 2001. Climate change: it's official: humans are behind most of global warming. *Science*. Vol. 291 (5504):566.
- Kerr R.A. 2002. Reducing uncertainties of global warming. *Science*. Vol 295:29-30
- Koch, F. H. 2001. Externalities and energy Policy: The Life Cycle Analysis Approach. Workshop Proceedings. Paris, France, Nuclear Energy Agency.
- Laguna, M. I. 2002. Generación de Energía Eléctrica y Medio Ambiente. *Gaceta Ecológica* No. 65. INE SEMARNAT.
- Lashof, D.A y D.R. Ahuja, 1990. Relative Contributions of Greenhouse Gas Emissions to Global Warming. *Nature*, 344:5, pp. 529-531.
- León, C. y B. Graizboard. 2004. Base para el Ordenamiento Ecológico de la Región de Escalera Náutica (Componente Social y Económico. El Colegio de México, INE SEMARNAT. Disponible en: <http://www.ine.gob.mx/enautica>.
- Levitus, S. J.I. Antonov, J. Wang, T. L. Delworth, K. W. Dixon and A. J. Broccoli. 2001. Anthropogenic warming of earth's climate systems. *Science*. Vol. 292:267-270.
- Liverman, D., M. Dilley, K. O'Brien, and L. Menchaca, 1994: Possible impacts of climate change on maize yields in Mexico. In: *Implications of Climate Change for International Agriculture: Crop Modeling Study* [Rosenzweig, C. and A. Iglesias (eds.)]. U.S. Environmental Protection Agency, Mexico chapter, Washington, DC, pp. 1-14.
- Locatelli, B., 2006. Vulnerabilidad de los bosques y sus servicios ambientales al cambio climático. www.cifor.cgiar.org/trofcca
- Lohmann, L. 2000. El Mercado del Carbono: sembrando más problemas. *Movimiento Mundial por lo bosques Tropicales*. Uruguay. www.wrm.org.uy
- Ludevid, A.M. 1998. *El Cambio Global en el Medio Ambiente*. Alfaomega. Gpo Editorial. México. DF. 332p.
- Loperena Rota, D. 1994. Tratamiento Jurídico de la Protección de la Atmósfera. *Revista Española de Derecho Administrativo*. No.81.Enero – Marzo. pp83-101.

- López S. J. 2002. Estudios de Impacto Ambiental de centrales de ciclo combinado Parte I y II. Departamento de Ingeniería Ambiental. Inerco, S.A. España.
- McCarty J.P., 2001. Ecological consequences of recent climate change. *Conservation Biology*, 15 (2): 320-331.
- Magaña, V., C. Conde, O. Sánchez, C. Gay, 1997, "Assessment of current and future regional climate scenarios for Mexico", en *Climate Research*, Vol. 9, Núms. 1 y 2, pp.107-114.
- Magaña, R. J. Matías., R. Morales y C. Millán. 2004. Consecuencias presentes y futuras de la variabilidad y el cambio climático en México. En: Martínez J., A. B. Fernández & P. Osnaya (comp). *Cambio Climático una visión desde México*. INE. SEMARNAT. México D.F.
- Martin, E. N., M.V. Melón & P. A. Sanchez. 2000. Depuración de Emisiones Atmosféricas Industriales. En línea: www.sc.ehu.es/iawfemaf/archivos/materia/industrial/libro-13a.pdf
- Mann, M.E., R.S. Bradley, and M.K. Hughes. 1998. Global-Scale Temperature Patterns and Climate Forcing over the past six centuries. *Nature*, 392, pp.779-787.
- Masera, O. 1995. "México y el cambio climático global: El papel de la eficiencia energética y alternativas de manejo forestal en la reducción de emisiones de bióxido de carbono". En: Juan J. Jardón (ed.). *Energía y medio ambiente: Una perspectiva económico-social*. Plaza y Valdés Editores, México, pp 157-177.
- Masera, O., 1995.B Carbon Mitigation Scenarios for Mexican Forests: Methodological Considerations and Results. *Interciencia*, 20:6, 388-395.
- Masera, O. 1995b. Deforestación y degradación forestal en México. Documento de Trabajo 19. Grupo Interdisciplinario de Tecnología Rural Apropiada, A.C. Pátzcuaro, Michoacán, México. 50 p.
- Masera, O., 1995a. Future Greenhouse Emission and Sequestration Scenarios from Land Use Change in Mexico. Report to UNEP from the Project Mexico's Country Study on Greenhouse Gas Emissions, Instituto Nacional de Ecología, Mexico City.
- Masera, O., M.R. Bellón y G. Segura 1995. "Forest Management Options for Sequestering Carbon in Mexico." En: *Biomass and Bioenergy* 8(5): 357- 367.
- Masera, O. R. y A. Ordóñez. 1997. Forest Management Mitigation Options. Pp. 77- 93. En: C. Sheinbaum (coord.). *Final Report to the USAID-Support to the National Climate Change Plan for Mexico*. México: Instituto de Ingeniería, Report 6133, UNAM.
- Masera, O. R., A. D. Cerón, y A. Ordóñez, (2001). "Forestry Mitigation Options for México: Finding Synergies Between National Sustainable Development Priorities and Global Concerns". En prensa en *Mitigation and Adaptation Strategies for Climate Change: Special Issue on Land Use Change and Forestry Carbon Mitigation Potential and Cost Effectiveness of Mitigations Options in Developing Countries*.

- Masera, O. y C. Sheinbaum. 2004. Mitigación de emisiones de carbono y prioridades de desarrollo nacional. En: Martínez J., A. B. Fernandez & P. Osnaya (comp). Cambio Climático una visión desde México. INE. SEMARNAT. México D.F.
- Maunaloadata 2007. www.teachersdomain.org/resources/essos/sci/ess/watcyc/maunaloadata/index.html.
- Meléndez, A. 1999. Indicios Geológicos de los cambios climáticos a lo largo de los mil últimos millones de años. Revista Real Academia de las Ciencias Exactas Físicas Naturales. Vol 93, N° 1. España.
- Mendoza, M., Villanueva, E., y Maderey, L., 1995. *Vulnerabilidad e hidrología, Estudio de País: México*.
- Miller, G.T. 1992. Living in the environment, an introduction to environmental science. Wadsworth Publishing Co., Belmont, California.
- Miller, P., Z. Patterson y S. Vaughan. 2001. Estimating Future Air Pollution from New Electric Power Generation. Electricity and the Environment. Commission for Cooperation Environmental.
- Miller, P. y M.J. Chris Van Atten. 2004. Emisiones Atmosféricas de las Centrales Eléctricas de América del Norte. Comisión para la Cooperación Ambiental de América del Norte. Montreal Canadá.
- Mintzer, I.M., 1992. Confronting Climate Change. Risk Implications and Responses. Cambridge, University Press, Cambridge.
- Mooney, H. A., J. Canadell, F. S. Chapin III, J. R. Ehleringer, Ch. Körner, R. E. McMurtrie, W. J. Parton, L. F. Pitelka y E. -D.Schulze. 1999. Ecosystem physiology responses to global change. Pp. 141-189. En: B. Walker, W. Steffen, J. Canadell, & J. Ingram (eds.) *The Terrestrial Biosphere and Global Change: Implications for Natural and Managed Ecosystems*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Morison J. 1998. Stomata response to increased CO₂ concentration. Journal of Experimental Botany. Vol. 49:443-452.
- Montoya, G., L. Soto, Ben de Jong, K. Nelson, P. Farias, Pajal Yakac Tic, J. Taylor y R. Tipper. 1995. Desarrollo Forestal Sustentable: Captura de Carbono en las Zonas Tzeltal y Tojolobal del Estado de Chiapas. Instituto Nacional de Ecología, Cuadernos de Trabajo 4. México.
- Nabuurs, G. y G.M.J. Mohren 1993. Carbon fixation through forestation activities. Institute for forestry and Nature Research. IBN Report 93/4, Wageningen, Holanda.
- Nava E, C. 2004 – 2005. Hacia un Derecho Atmosférico Ambiental. Derecho Ambiental y Ecología. (1): 4: 12-25).
- Naveh, Z. y A. Liebman. 1984. Landscape ecology. Springer-Verlang. Nueva York. p: 3-25.

- Ochoa, M. R. 2004. Sector Eléctrico y Medio Ambiente. Comisión de Estudios del Sector Privado para el Desarrollo Sustentable. CESPEDES. Revista Vol. 1 No 7. En línea: www.cce.org.mx/cespedes/publicaciones/revista/revista_7/raquel.htm
- Ordóñez, A. 1998. Estimación de la captura de carbono en un estudio de caso para bosque templado: San Juan Nuevo, Michoacán. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias. UNAM. México D.F.
- Ordóñez, J. A. B. 1999. Captura de Carbono en un Bosque Templado: el caso de San Juan Nuevo, Michoacán. INE SEMARNAP. México. 73 pp.
- Ordóñez, A. 1999. Estimación de la captura de carbono en un estudio de caso. Instituto Nacional de Ecología. SEMARNAP. México D.F.
- Ordóñez, J. A. B. y O. Masera. 2001. Captura de Carbono ante el Cambio Climático. Madera y Bosques 7 (1): 3- 12.
- Ortiz, P. M. A., y A. P. Méndez. 2000. Zonas costeras. Repercusiones por ascenso del nivel del mar en el litoral del Golfo de México. Pp. 83-102. En: C. Gay (comp.) *México: una visión hacia el siglo XXI. El cambio climático en México. Resultados de los estudios de la vulnerabilidad del país, coordinados por el INE con el apoyo del U.S. Country Studies Program*. México: INE, SEMARNAP, UNAM, U.S. Country Studies Program.
- Palumbi, S.R. 2001. Humans as the world's greatest evolutionary force. *Science*. Vol. 293: 1786-1790.
- Parmesan, C. & G. Yohe. 2003. A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature* 421, 37 – 42.
- Panel on Policy Implications of Greenhouse Warming. 1992. *Policy implications of greenhouse warming. Mitigation, adaptation and the science base*. Washington, D.C.: National Academy Press.
- Peteet, D. 2000. Sensitivity and rapidity of vegetation response to abrupt climate change. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 97(4): 1359-1361.
- Peterson, T., V. Sanchez-Cordero, J. Soberón, J. Bartley, R. Buddemeier y A. Sánchez- Navarro. 2001. Effects of global climate change on geographic distributions of Mexican Cracidae. *Ecological Modeling* 144: 21-30.
- ———, M. Ortega-Huerta, J. Bartley, V. Sánchez-Cordero, J. Soberón, R. Buddemeier y D. Stockwell. 2002. Future projections for Mexican faunas under global climate change scenarios. *Nature* 416: 626-628.
- Power Scorecard, 2004. Registro de energía formulado por el Pace Energy Project and Environmental Defense. www.powerscorecard.org.

- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). 1978. Compendio de las bases legislativas. Pergaman Press. Oxford
- PNUMA. Climate Change Information Sheets; acceso en línea: <http://www.unep.org/dec/docs/info/ccinfokit/infokit-2001.pdf>
- Quadri, G. 1998. Cambio Climático Global: El reto del sector privado en América Latina. Centro INOOVA para el Desarrollo Sostenible. Nuevo León, México. pp 37
- Rangel, C. 2002. Fuel switching in electricity generation: issues and challenges: The Mexican experience. 4th APEC Coal Trade and Investment Liberalization and Facilitation (TILF) Workshop, 6-8 de marzo, 2002, Kuala Lumpur, Malasia: APEC Energy Working Group (The Expert Group on Clean Fossil Energy).
- RDI/Platts NEW Gen Database. 2001 issue (Boulder, Colorado, USA).
- Repetto, R. (1993). "Trade and environment policies: achieving complementarities and avoiding conflicts". World Research Institute. Washington, D.C.
- Rincón, E., P. Huante & M. Álvarez. 1999. Respuestas de plantas y ecosistemas al cambio climático: un enfoque ecofisiológico. *Ciencias* 50 (3): 5-15.
- Robledo C., C. Forner, 2005. Adaptation of forest ecosystems and the forest sector to climate change. FAO, Forests and climate change Working Paper n°2, 96 pp.
- Rojas, M. 1999. "Selling clean air" En: A. Yoshimoto y K. Yukutake (eds.) Global concerns for forest resource utilization. Kluwer Academic Pub. Forestry Science Series. Pp. 35-46.
- Root, T.L., J.T. Price, K.R. Hall, S.H. Schneider, C. Rosenzweig & J.A. Pounds. 2003. Fingerprints of global warming on wild animals and plants. *Nature* 421, 57 – 60.
- Sagarin, R. D., J. P. Barry, S. E. Gilman and Ch. H. Baxter. 1999. Climate-related change in a intertidal community over short and long time scales. *Ecological Monographs* 69(4): 465-490.
- Salati, E., 1990. Los Posible Cambios Climáticos en América Latina y el Caribe y sus Consecuencias. Report # 90-7-1223, Naciones Unidas y Comisión Económica para América Latina y el Caribe- CEPAL. Santiago de Chile, 12-14 de Septiembre, 45 pag.
- Sánchez, María Teresa, Martínez, Maribel y Martínez, Norma, Vulnerabilidad de la industria y el sector energético, Estudio de País: México.
- Sánchez, S y M. Martínez. 1999. Energía e Industria. En: C. Gay (comp.) *México: una visión hacia el siglo XXI. El cambio climático en México. Resultados de los estudios de la vulnerabilidad del país, coordinados por el INE con el apoyo del U.S. Country Studies Program*. México: INE, SEMARNAP, UNAM, U.S. Country Studies Program.

- Sampson, R.N., M. Apps, S. Brown, C. Cole, J. Downing, L. Heath, O. Ojima, T. Smith, A. Solomon y J. Wisniewski, 1993. Workshop Summary Statement: Terrestrial Biospheric Carbon Fluxes-quantification of Sinks and Sources on CO₂. *Water, Air and Soil Pollution*, 70, pp. 3-15.
- Sauders, D., R. Hoobbs y C. Margules. 1991. Biological consequences of ecosystem fragmentation: a review. *Conservation Biology* 5: 18-32.
- Schlesinger, W. H. 1997. *Biogeochemistry: An Analysis of Global Change*. New York: National Academic Press.
- Schimel, D. S. *et al.* 2001. Recent patterns and mechanisms of carbon exchange by terrestrial ecosystems. *Nature*. 414: 169-172.
- Sharp, P. 2002. Retos y Oportunidades ambientales en dinámico mercado de electricidad de América del Norte. Comisión para la Cooperación Ambiental (CCA). Montreal Canadá.
- Sheinbaum, C, V. Rodríguez, y G. Robles. 1999. *Final Report to Secretaria de Energía- Escenarios Energéticos y de Emisiones*. México: Instituto de Ingeniería, Reporte 9137, UNAM.
- UN (United Nations). 1992. CONVENCIÓN DE RIO.
- Schimel, D.S., 1995. Terrestrial Ecosystems and The Carbon Cycle. *Global Change Biology*, 1, 77-91.
- Schlamadinger, B. y G. Marland. 1996. Full fuel cycle carbon balances of bioenergy and forestry options. *Energy conversion and management*. 37:6/8, p. 813.
- Schneider, Stephen H. Julio 1987. Modelos climáticos. En *Scientific America*.
- Schneider, S.H. 1989. The Greenhouse Effect: Science and Policy. *Science*, 243:10, 271-281.
- Schwartz, M.W., L.R. Iverson and A. Prasad. 2001. Predicting the potential future distribution of four tree species in Ohio using current habitat availability and climate forcing. *Ecosystems* 4: 568-581.
- Secretaria de Relaciones Exteriores. [Http://www.sre.gob.mx/](http://www.sre.gob.mx/)
- Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH) 1994. Inventario Nacional Forestal de Gran Visión. Subsecretaría Forestal y de la Fauna Silvestre. Documento Interno. 145 pp.
- SENER 2000. Prospectiva del Sector Eléctrico 2000-2009. Secretaria de Energía. México
- SENER 2001. Programa Sectorial de Energía 2001-2006. Secretaria de Energía. México
- SEMARNAT. 2002. Secretaria de Energía. México.
- SENER 2004. Prospectiva del Sector Eléctrico 2004-2013. Secretaria de Energía. México
- SENER 2006. Balance Nacional de Energía 2005. Secretaria de Energía. México

- SENER 2006^a. Prospectiva del Sector Eléctrico 2006-2015. Secretaria de Energía. México
- SEMARNAT. 2004. Cédula de Operación 2002. México, D. F. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- SEMARNAP; 2000. La Gestión Ambiental en México. Secretaria del Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca. México.
- Smith, T.M., W.P. Cramer, R.K. Dixon, R. Leemans, R.P. Neilson, and A.M. Solomon, 1993. The Global Terrestrial Carbon Cycle. En Wisniewski, J. y R.N. Sampson (Eds). *Terrestrial Biospheric Carbon Fluxes: Quantification and Sources of CO₂*. Kluwer Academic Publishers, Netherlands. pp. 19-37.
- Smith, T.M., W.P. Cramer, R.K. Dixon, R. Leemans, R.P. Neilson, and A.M. Solomon, 1993. The Global Terrestrial Carbon Cycle *Water, Air and Soil Pollution*, 70, pp. 19-37
- Soberanes, F.J., F. Treviño., D. Acosta., B. Bugada., M. Carmona., L. Flores., F. González., S. Hazell., D. Hobbs., A. Jaimes., G. Nieves., L. Ortiz., J. Ríos. 1997. El Derecho Ambiental en América del Norte y el Sector Eléctrico Mexicano. Instituto de Investigaciones Jurídicas. Serie E Varios Num. 80. UNAM-CFE. México.
- Stott P.A., S.F.B. Tett, G.S. Jones, M.R. Allen, J.F.B. Mitchell and G.J. Jenkins. 2000. External control of 20th century temperature by natural and anthropogenic forcings. *Science*. Vol. 290:2133- 2137.
- Takle, S. E. 1996. 1-4: Composición Atmosférica; Dióxido de Carbono http://www.iitap.iastate.edu/gccourse/chem/gases/gases_lecture_es.html.
- Trexter, M.C. y C. Haugen 1995. Keeping it green: tropical Forestry opportunities for mitigating climate change. WRI, EPA. 52 pp.
- Therivel, R. et al. (1992). *Strategic environmental assessment*. Earthscan. London.
- Tilman D. and C. Lehman. 2001. Human-caused environmental change: impacts on plant diversity and evolution. *Proc. Natl. Acad. Sci*. Vol. 98 (10):5433-5440.
- Tilman D., J. Fargione, B. Wolff, C. Antonio, A. Dobson, R. Howart, D. Schindler, W. H. Schlesinger, D. Simberloff and D. Swackhamer. 2001. Forecasting agriculturally driven global environmental change. *Science*. Vol. 292:281- 284.
- Torres, R. J.M. y A. Guevara. 2003. El potencial de México para la producción de servicios ambientales: captura de carbono y desempeño hidráulico. *Gaceta Ecologica* No. 63. INE SEMARNAT. México
- UNEP. 1996. Register of international treaties and the agreements in the field of the environment. Nairobi.

- UNEP/GRID-Arendal www.grida.no
- United Nations Framework Convention on Climate Change. 1998. [Http:// www.unfccc.de/](http://www.unfccc.de/)Van Auken O.W. 2000. Shrub invasions of north American semiarid grasslands. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 31:197-215.
- Vijay, S., L. T. Molina., y M. J. Molina, 2004. “Cálculo de emisiones de contaminación atmosférica por uso de combustibles fósiles en el sector eléctrico mexicano”. Elaborado por el Programa Integrado sobre Contaminación Atmosférica Urbana, Regional y Global del Massachusetts Institute of Technology.
- Ville, C.A. 1990. *Biología*. Mc Graw Hill. México. 875 pp.
- Villers, R. L. e I. Trejo-Vázquez. 1997. Assessment of the vulnerability of forest ecosystems to climate change in Mexico. *Climate Research Vol. 9*: 87-93.
- Villers-Ruiz, L. and I. Trejo-Vazquez, 1998: Climate change on Mexican forests and natural protected areas. *Global Environmental Change*, 8(2), 141-157.
- Vitousek, P. M., P. R. Ehrlich, A. H. Ehrlich y P. A. Matson. 1986. Human appropriation of the products of photosynthesis. *BioScience* 36: 368-373.
- Walther G.R.; E. Post, P. Convey, A. Menzel; C. Parmesan; T.J. Beebee; J.M. Fromentin; O. Guldberg & F. Bairlein. 2002. Ecological responses to recent climate change *Nature* 416, 389–395.
- Wathern, P. (1994). An introductory guide to EIA. en Wathern, P. *Environmental Impact Assessment: theory and practice*. Routledge. pp.3-30.
- Watson, R.T., M.C. Zinyowera, R.H. Moss (eds.), *Climate change 1995. Impacts, Adaptations and mitigation of climate change: scientific - technical analyses*. Contribution of Working Group II to the second assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, 1995, 427-467.
- (WRI). 2000. Instituto de Recursos Mundiales. *World Resources 2000-2001- People and ecosystems: The fraying web of life*.

TABLA 1 EMISIONES DE SO₂ EN PLANTAS DE ENERGIA ELECTRICA EN MEXICO. ORDENADAS POR EMISIONES ANUALES

	PLANTA ESTADO	GENERACION DE ELECTRICIDAD, MW/hr	EMISIONES SO ₂ , TON METRICAS	TASA EMISION SO ₂ , kg/MWh	COMBUSTIBLE PRIMARIO
1	C.T. PDTE. A. López Mateos (Tuxpan), Veracruz	15,030,690	253,430	16.86	Petróleo
2	C.T. Francisco Pérez Ríos (Tula), Hidalgo	9,734,170	158,326	16.26	Petróleo
3	C.T. Plutarco Elias Calles (Petacalco), Guerrero	13,879,470	113,207	8.16	Carbón
4	C.T. Gral. Manuel Alvarez (Manzanillo I), Colima	6,449,140	107,032	16.60	Petróleo
5	C.T. José López Portillo (Río Escondido), Coahuila	7,515,560	104,213	13.87	Carbón
6	C.T. Carbón II, Coahuila	8,636,350	102,729	11.89	Carbón
7	C.T. Altamira, Tamaulipas	4,655,850	86,451	18.57	Petróleo
8	C.T. Salamanca, Guanajuato	4,841,380	83,019	17.15	Petróleo
9	C.T. Manzanillo II, Colima	5,034,400	75,416	14.98	Petróleo
10	C.T. Puerto Libertad, Sonora	3,349,740	61,159	18.26	Petróleo
11	C.T. José Acevez Pozos (Mazatlan II), Sinaloa	3,284,120	61,155	18.62	Petróleo
12	C.T. Villa De Reyes (San Luis Potosí), San Luis Potosí	2,925,990	45,727	15.63	Petróleo
13	C.T. Carlos Rodriguez Rivero (Guaymas II), Sonora	2,259,290	41,972	18.58	Petróleo
14	C.T. Guadalupe Victoria (Lerdo), Durango	1,980,460	36,173	18.27	Petróleo
15	C.T. Juan De Díos Batis P. (Topolobampo), Sinaloa	1,996,550	36,131	18.10	Petróleo
16	C.T. Francisco Villa (Delicias), Chihuahua	1,919,730	29,196	15.21	Petróleo
17	C.T. Monterrey, Nuevo León	2,538,090	26,792	10.56	Petróleo
18	C.T. Emilio Portes Gil (Río Bravo), Tamaulipas	1,745,990	24,388	13.97	Petróleo
19	C.T. Benito Juárez (Samalayuca I), Chihuahua	1,232,800	22,379	18.15	Petróleo
20	C.T. Campeche II (Lerma), Campeche	812,720	17,742	21.83	Petróleo
21	C.T. Mérida II, Yucatán	1,099,710	17,497	15.91	Petróleo
22	C.T. Poza Rica, Veracruz	654,040	12,768	19.52	Petróleo
23	C.T. Felipe Carrillo P. (Valladolid), Yucatán	414,970	8,409	20.27	Petróleo
24	C.T. Presidente Juárez (Tijuana), Baja California	1,488,840	7,019	4.71	Petróleo
25	C.T. Punta Prieta II, Baja California Sur	621,830	6,004	9.66	Petróleo
26	C.Cl. Puerto San Carlos, Baja California Sur	470,680	5,933	12.61	Petróleo
27	C.T. Nachi-Cocom, Yucatán	249,470	5,838	23.40	Petróleo
28	C.T. Guaymas I, Sonora	186,750	5,106	27.34	Petróleo
29	C.TG. Cancún, Quintana Roo	77,770	326	4.19	Diesel
30	C.TG. Las Cruces, Guerrero	46,400	198	4.27	Diesel
31	C.C.C. El Sauz, Querétaro	1,370,540	176	0.13	Gas Natural
32	C.TG. Ciudad Constitución, Baja California Sur	33,690	171	5.08	Diesel
33	C.TG. Los Cabos, Baja California Sur	30,900	134	4.34	Diesel
34	C.C.C. Felipe Carrillo P. (Valladolid), Yucatán	1,517,600	123	0.08	Diesel
35	C.Cl. Guerrero Negro, Baja California Sur	36,390	117	3.22	Diesel
36	C.TG. Caborca Industrial, Sonora	26,140	109	4.19	Diesel

	PLANTA ESTADO	GENERACION DE ELECTRICIDAD, MW/hr	EMISIONES SO ₂ , TON METRICAS	TASA EMISION SO ₂ , kg/MWh	COMBUSTIBLE PRIMARIO
37	C.TG. Nizuc, Quintana Roo	27,630	99	3.60	Diesel
38	C.CI. Santa Rosalía, Baja California Sur	26,220	87	3.30	Diesel
39	C.TG. Culiacan, Sinaloa	17,550	63	3.60	Diesel
40	C.TG. Parque, Chihuahua	15,580	62	3.97	Diesel
41	C.TG. Tecnológico, Nuevo León	13,400	57	4.24	Diesel
42	C.TG. Ciudad Obregón, Sonora	10,780	53	4.95	Diesel
43	C.TG. Punta Prieta I (La Paz), Baja California Sur	9,870	51	5.17	Diesel
44	C.CI. Villa Constitución, Baja California Sur	17,170	50	2.93	Diesel
45	Pueblo Nuevo (Movil), Sonora	12,050	46	3.83	Diesel
46	C.TG. Cipres, Baja California	10,120	45	4.44	Diesel
47	C.TG. El Verde, Jalisco	29,110	44	1.53	Gas Natural
48	C.TG. Arroyo De Coyote, Tamaulipas	6,540	41	6.21	Diesel
49	C.TG. Xul-Ha, Quintana Roo	8,770	40	4.59	Diesel
50	C.TG. Chihuahua I, Chihuahua	7,980	37	4.60	Diesel
51	Nuevo Nogales (Movil), Sonora	7,730	28	3.67	Diesel
52	C.TG. Mexicali, Baja California	5,330	26	4.92	Diesel
53	C.TG. Presidente Juárez (Tijuana), Baja California	648,420	25	0.04	Gas Natural
54	C.TG. Esperanzas, Coahuila	4,590	23	4.92	Diesel
55	C.TG. Industrial (Juárez), Chihuahua	1,980	19	9.41	Diesel
56	C.T. La Laguna, Durango	179,590	15	0.08	Gas Natural
57	C.TG. Portes Gil (Río Bravo), Tamaulipas	1,031,400	14	0.01	Gas Natural
58	C.C.C. Chihuahua II (El Encino), Chihuahua	2,949,700	12	0.00	Gas Natural
59	C.T. Valle de México, México	3,894,120	11	0.00	Gas Natural
60	C.C.C. Benito Juárez (Samalayuca II), Chihuahua	3,901,950	10	0.00	Gas Natural
61	C.C.C. FCO. Pérez Ríos (Tula), Hidalgo	3,260,940	8	0.00	Gas Natural
62	C.C.C. Dos Bocas, Veracruz	2,428,890	7	0.00	Gas Natural
63	C.C.C. Huinala, Nuevo León	2,331,460	6	0.00	Gas Natural
64	C.CI. Yecora, Sonora	1,890	5	2.84	Diesel
65	C.C.C. Presidente Juárez (Rosarito), Baja California	2,077,250	4	0.00	Gas Natural
66	C.TG. El Sauz, Querétaro	1,495,570	4	0.00	Gas Natural
67	C.TG. Monclava, Coahuila	n/a	4	n/a	Gas Natural
68	C.C.C. Gómez Palacio, Durango	1,045,260	3	0.00	Gas Natural
69	C.C.C. Huinala II, Nuevo León	1,333,060	3	0.00	Gas Natural
70	C.TG. La Laguna, Durango	62,260	2	0.03	Gas Natural
71	C.T. Jorge Luque (LFC), México	497,160	2	0.00	Gas Natural
72	C.TG. Hermosillo, Sonora	507,150	2	0.00	Gas Natural
73	C.TG. Chihuahua II (El Encino), Chihuahua	329,140	1	0.00	Gas Natural
74	C.TG. Huinala, Nuevo León	259,700	1	0.00	Gas Natural
75	C.T. San Jerónimo, Nuevo León	222,010	1	0.00	Gas Natural
76	C.TG. Jorge Luque (Lechería) (LFC), México	145,390	1	0.00	Gas Natural

	PLANTA ESTADO	GENERACION DE ELECTRICIDAD, MW/hr	EMISIONES SO ₂ , TON METRICAS	TASA EMISION SO ₂ , kg/MWh	COMBUSTIBLE PRIMARIO
77	C.TG. Nonalco (LFC), DF	131,470	1	0.00	Gas Natural
78	C.TG. Valle de México (LFC), México	104,780	0.45	0.00	Gas Natural
79	C.TG. Chávez, Coahuila	25,250	0.12	0.00	Gas Natural
80	C.TG. Universidad, Nuevo León	17,220	0.09	0.01	Gas Natural
81	C.TG. Leona, Nuevo León	16,570	0.09	0.01	Gas Natural
82	C.TG. Fundidora, Nuevo León	4,810	0.03	0.01	Gas Natural

TABLA 2 EMISIONES DE NO_x EN PLANTAS DE ENERGIA ELECTRICA EN MEXICO. ORDENADAS POR EMISIONES ANUALES

	PLANTA ESTADO	GENERACION DE ELECTRICIDAD, MW/hr	EMISIONES NO _x , TON METRICAS	TASA EMISION NO _x kg/MWh	COMBUSTIBLE PRIMARIO
1	C.T. José López Portillo (Río Escondido), Coahuila	7,515,560	45,932	6.11	Carbón
2	C.T. Carbón II, Coahuila	8,636,350	40,099	4.64	Carbón
3	C.T. Plutarco Elías Calles (Petacalco), Guerrero	13,879,470	30,931	2.23	Carbón
4	C.T. PDTE. A. López Mateos (Tuxpan), Veracruz	15,030,690	15,899	1.06	Petróleo
5	C.T. Francisco Pérez Ríos (Tula), Hidalgo	9,734,170	10,949	1.12	Petróleo
6	C.T. Altamira, Tamaulipas	4,655,850	6,899	1.48	Petróleo
7	C.T. Gral. Manuel Álvarez (Manzanillo I), Colima	6,449,140	6,146	0.95	Petróleo
8	C.T. Salamanca, Guanajuato	4,841,380	5,393	1.11	Petróleo
9	C.T. Manzanillo II, Colima	5,034,400	4,555	0.90	Petróleo
10	C.C.C. Benito Juárez (Samalayuca II), Chihuahua	3,901,950	4,140	1.06	Gas Natural
11	C.C.C. FCO. Pérez Ríos (Tula), Hidalgo	3,260,940	4,088	1.25	Gas Natural
12	C.T. José Acevez Pozos (Mazatlan II), Sinaloa	3,284,120	4,056	1.23	Petróleo
13	C.C.C. Dos Bocas, Veracruz	2,428,890	3,712	1.53	Gas Natural
14	C.TG. Portes Gil (Río Bravo), Tamaulipas	1,031,400	3,437	3.33	Gas Natural
15	C.T. Monterrey, Nuevo León	2,538,090	3,429	1.35	Petróleo
16	C.T. Puerto Libertad, Sonora	3,349,740	3,289	0.98	Petróleo
17	C.C.C. Chihuahua II (El Encino), Chihuahua	2,949,700	3,264	1.11	Gas Natural
18	C.T. Valle de México, México	3,894,120	3,096	0.80	Gas Natural
19	C.C.C. Huinala, Nuevo León	2,331,460	3,009	1.29	Gas Natural
20	C.T. Carlos Rodríguez Rivero (Guaymas II), Sonora	2,259,290	2,958	1.31	Petróleo
21	C.T. Villa De Reyes (San Luis Potosí), San Luis Potosí	2,925,990	2,882	0.98	Petróleo
22	C.T. Francisco Villa (Delicias), Chihuahua	1,919,730	2,871	1.50	Petróleo
23	C.T. Juan De Dios Batis P. (Topolobampo), Sinaloa	1,996,550	2,775	1.39	Petróleo
24	C.T. Presidente Juárez (Tijuana), Baja California	1,488,840	2,392	1.61	Petróleo
25	C.C.C. Presidente Juárez (Rosarito), Baja California	2,077,250	2,242	1.08	Gas Natural
26	C.TG. El Sauz, Querétaro	1,495,570	2,221	1.49	Gas Natural
27	C.C.C. Felipe Carrillo P. (Valladolid), Yucatán	1,517,600	2,025	1.33	Gas Natural
28	C.C.C. El Sauz, Querétaro	1,370,540	1,955	1.43	Gas Natural
29	C.T. Guadalupe Victoria (Lerdo), Durango	1,980,460	1,892	0.96	Petróleo
30	C.T. Benito Juárez (Samalayuca I), Chihuahua	1,232,800	1,814	1.47	Petróleo
31	C.C.C. Gómez Palacio, Durango	1,045,260	1,668	1.60	Gas Natural
32	C.T. Emilio Portes Gil (Río Bravo), Tamaulipas	1,745,990	1,634	0.94	Petróleo
33	C.C.C. Huinala II, Nuevo León	1,333,060	1,418	1.06	Gas Natural
34	C.TG. Presidente Juárez (Tijuana), Baja California	648,420	1,222	1.88	Gas Natural
35	C.T. Mérida II, Yucatán	1,099,710	1,151	1.05	Petróleo
36	C.Cl. Puerto San Carlos, Baja California Sur	470,680	1,148	2.44	Petróleo
37	C.T. Poza Rica, Veracruz	654,040	1,124	1.72	Petróleo
38	C.T. Campeche II (Lerma), Campeche	812,720	1,005	1.24	Petróleo

	PLANTA ESTADO	GENERACION DE ELECTRICIDAD, MW/hr	EMISIONES NOx, TON METRICAS	TASA EMISION NOx kg/MWh	COMBUSTIBLE PRIMARIO
39	C.Ci. Guerrero Negro, Baja California Sur	36,390	903	24.80	Diesel
40	C.TG. Hermosillo, Sonora	507,150	875	1.73	Gas Natural
41	C.T. Jorge Luque (LFC), México	497,160	847	1.70	Gas Natural
42	C.T. Punta Prieta II, Baja California Sur	621,830	833	1.34	Petróleo
43	C.T. Felipe Carrillo P. (Valladolid), Yucatán	414,970	709	1.71	Petróleo
44	C.Ci. Santa Rosalía, Baja California Sur	26,220	667	25.42	Diesel
45	C.TG. Chihuahua II (El Encino), Chihuahua	329,140	582	1.77	Gas Natural
46	C.TG. Cancún, Quintana Roo	77,770	508	6.54	Diesel
47	C.TG. Huinala, Nuevo León	259,700	427	1.64	Gas Natural
48	C.T. Guaymas I, Sonora	186,750	403	2.16	Petróleo
49	C.Ci. Villa Constitución, Baja California Sur	17,170	386	22.51	Diesel
50	Pueblo Nuevo (Movil), Sonora	12,050	355	29.49	Diesel
51	C.T. Nachi-Cocom, Yucatán	249,470	332	1.33	Petróleo
52	C.TG. Jorge Luque (Lechería) (LFC), México	145,390	326	2.24	Gas Natural
53	C.TG. Las Cruces, Guerrero	46,400	309	6.66	Diesel
54	C.T. La Laguna, Durango	179,590	303	1.69	Gas Natural
55	C.TG. Nonalco (LFC), DF	131,470	281	2.13	Gas Natural
56	C.TG. Ciudad Constitución, Baja California Sur	33,690	267	7.91	Diesel
57	C.TG. Valle de México (LFC), México	104,780	242	2.31	Gas Natural
58	C.T. San Jerónimo, Nuevo León	222,010	219	0.99	Gas Natural
59	Nuevo Nogales (Movil), Sonora	7,730	219	28.28	Diesel
60	C.TG. Monclava, Coahuila	n/a	217	n/a	Gas Natural
61	C.TG. Los Cabos, Baja California Sur	30,900	209	6.77	Diesel
62	C.TG. Caborca Industrial, Sonora	26,140	171	6.53	Diesel
63	C.TG. La Laguna, Durango	62,260	159	2.56	Gas Natural
64	C.TG. Nizuc, Quintana Roo	27,630	156	5.64	Diesel
65	C.TG. El Verde, Jalisco	29,110	114	3.93	Gas Natural
66	C.TG. Culiacan, Sinaloa	17,550	98	5.61	Diesel
67	C.TG. Parque, Chihuahua	15,580	96	6.19	Diesel
68	C.TG. Tecnológico, Nuevo León	13,400	89	6.61	Diesel
69	C.TG. Ciudad Obregón, Sonora	10,780	83	7.71	Diesel
70	C.TG. Punta Prieta I (La Paz), Baja California Sur	9,870	79	8.05	Diesel
71	C.TG. Cipres, Baja California	10,120	70	6.92	Diesel
72	C.TG. Chávez, Coahuila	25,250	65	2.58	Gas Natural
73	C.TG. Arroyo De Coyote, Tamaulipas	6,540	63	9.68	Diesel
74	C.TG. Xul-Ha, Quintana Roo	8,770	63	7.15	Diesel
75	C.TG. Chihuahua I, Chihuahua	7,980	57	7.16	Diesel
76	C.TG. Universidad, Nuevo León	17,220	50	2.93	Gas Natural
77	C.TG. Leona, Nuevo León	16,570	48	2.91	Gas Natural
78	C.Ci. Yecora, Sonora	1,890	41	21.83	Diesel
79	C.TG. Mexicali, Baja California	5,330	41	7.67	Diesel
80	C.TG. Esperanzas, Coahuila	4,590	35	7.66	Diesel
81	C.TG. Industrial (Juárez), Chihuahua	1,980	29	14.66	Diesel
82	C.TG. Fundidora, Nuevo León	4,810	13	2.79	Gas Natural

TABLA 3 EMISIONES DE MERCURIO EN PLANTAS DE ENERGIA ELECTRICA EN MEXICO. ORDENADAS POR EMISIONES ANUALES

	PLANTA ESTADO	GENERACION DE ELECTRICIDAD, MW/hr	EMISIONES MERCURIO, TON METRICAS	TASA EMISION MERCURIO kg/MWh	COMBUSTIBLE PRIMARIO
1	C.T. Carbón II, Coahuila	8,636,350	361	0.042	Carbón
2	C.T. José López Portillo (Río Escondido), Coahuila	7,515,560	349	0.046	Carbón
3	C.T. Plutarco Elias Calles (Petacalco), Guerrero	13,879,470	314	0.023	Carbón

TABLA 4 EMISIONES DE CO₂ EN PLANTAS DE ENERGIA ELECTRICA EN MEXICO. ORDENADAS POR EMISIONES ANUALES

	PLANTA ESTADO	GENERACION DE ELECTRICIDAD, MW/hr	EMISIONES CO ₂ , TON METRICAS	TASA EMISION CO ₂ kg/MWh	COMBUSTIBLE PRIMARIO
1	C.T. PDTE. A. López Mateos (Tuxpan), Veracruz	15,030,690	10,603,037	705	Petróleo
2	C.T. Plutarco Elias Calles (Petacalco), Guerrero	13,879,470	8,247,112	594	Carbón
3	C.T. Francisco Pérez Ríos (Tula), Hidalgo	9,734,170	7,270,331	747	Petróleo
4	C.T. Carbón II, Coahuila	8,636,350	6,465,622	749	Carbón
5	C.T. José López Portillo (Río Escondido), Coahuila	7,515,560	6,277,829	835	Carbón
6	C.T. Gral. Manuel Alvarez (Manzanillo I), Colima	6,449,140	4,802,602	745	Petróleo
7	C.T. Salamanca, Guanajuato	4,841,380	3,762,227	777	Petróleo
8	C.T. Altamira, Tamaulipas	4,655,850	3,710,679	797	Petróleo
9	C.T. Manzanillo II, Colima	5,034,400	3,582,059	712	Petróleo
10	C.T. Puerto Libertad, Sonora	3,349,740	2,604,163	777	Petróleo
11	C.T. José Acevez Pozos (Mazatlan II), Sinaloa	3,284,120	2,601,296	792	Petróleo
12	C.T. Valle de México, México	3,894,120	2,182,656	561	Gas Natural
13	C.T. Villa De Reyes (San Luis Potosí), San Luis Potosí	2,925,990	2,175,635	744	Petróleo
14	C.T. Monterrey, Nuevo León	2,538,090	2,046,405	806	Petróleo
15	C.T. Carlos Rodriguez Rivero (Guaymas II), Sonora	2,259,290	1,784,843	790	Petróleo
16	C.T. Guadalupe Victoria (Lerdo), Durango	1,980,460	1,498,768	757	Petróleo
17	C.T. Juan De Díos Batis P. (Topolobampo), Sinaloa	1,996,550	1,496,539	750	Petróleo
18	C.T. Francisco Villa (Delicias), Chihuahua	1,919,730	1,484,702	773	Petróleo
19	C.C.C. Benito Juárez (Samalayuca II), Chihuahua	3,901,950	1,467,057	376	Gas Natural
20	C.C.C. FCO. Pérez Ríos (Tula), Hidalgo	3,260,940	1,449,006	444	Gas Natural
21	C.C.C. Dos Bocas, Veracruz	2,428,890	1,315,693	542	Gas Natural
22	C.T. Emilio Portes Gil (Río Bravo), Tamaulipas	1,745,990	1,262,872	723	Petróleo
23	C.TG. Portes Gil (Río Bravo), Tamaulipas	1,031,400	1,216,356	1,179	Gas Natural
24	C.T. Presidente Juárez (Tijuana), Baja California	1,488,840	1,161,186	780	Petróleo
25	C.C.C. Chihuahua II (El Encino), Chihuahua	2,949,700	1,155,436	392	Gas Natural
26	C.C.C. Huinala, Nuevo León	2,331,460	1,066,807	458	Gas Natural
27	C.T. Benito Juárez (Samalayuca I), Chihuahua	1,232,800	972,697	789	Petróleo
28	C.T. Mérida II, Yucatán	1,099,710	897,935	817	Petróleo
29	C.T. Campeche II (Lerma), Campeche	812,720	796,032	979	Petróleo
30	C.C.C. Presidente Juárez (Rosarito), Baja California	2,077,250	794,694	383	Gas Natural
31	C.TG. El Sauz, Querétaro	1,495,570	787,424	527	Gas Natural
32	C.C.C. Felipe Carrillo P. (Valladolid), Yucatán	1,517,600	685,122	451	Gas Natural
33	C.C.C. El Sauz, Querétaro	1,370,540	645,602	471	Gas Natural

	PLANTA ESTADO	GENERACION DE ELECTRICIDAD, MW/hr	EMISIONES CO ₂ , TON METRICAS	TASA EMISION CO ₂ kg/MWh	COMBUSTIBLE PRIMARIO
34	C.T. Poza Rica, Veracruz	654,040	606,247	927	Petróleo
35	C.C.C. Gómez Palacio, Durango	1,045,260	591,390	566	Gas Natural
36	C.T. Punta Prieta II, Baja California Sur	621,830	570,497	917	Petróleo
37	C.C.C. Huinala II, Nuevo León	1,333,060	502,788	377	Gas Natural
38	C.TG. Presidente Juárez (Tijuana), Baja California	648,420	427,061	659	Gas Natural
39	C.T. Felipe Carrillo P. (Valladolid), Yucatán	414,970	381,132	918	Petróleo
40	C.T. Jorge Luque (LFC), México	497,160	362,650	729	Gas Natural
41	C.TG. Hermosillo, Sonora	507,150	310,190	612	Gas Natural
42	C.Cl. Puerto San Carlos, Baja California Sur	470,680	286,608	609	Petróleo
43	C.T. Nachi-Cocom, Yucatán	249,470	262,614	1,053	Petróleo
44	C.T. Guaymas I, Sonora	186,750	217,070	1,162	Petróleo
45	C.TG. Chihuahua II (El Encino), Chihuahua	329,140	206,266	627	Gas Natural
46	C.T. San Jerónimo, Nuevo León	222,010	154,502	696	Gas Natural
47	C.TG. Huinala, Nuevo León	259,700	151,433	583	Gas Natural
48	C.T. La Laguna, Durango	179,590	129,843	723	Gas Natural
49	C.TG. Jorge Luque (Lechería) (LFC), México	145,390	115,683	796	Gas Natural
50	C.TG. Nonalco (LFC), DF	131,470	99,471	757	Gas Natural
51	C.TG. Cancún, Quintana Roo	77,770	90,686	1,166	Diesel
52	C.TG. Valle de México (LFC), México	104,780	85,676	818	Gas Natural
53	C.TG. Monclava, Coahuila	n/a	75,926	n/a	Gas Natural
54	C.TG. La Laguna, Durango	62,260	56,003	899	Gas Natural
55	C.TG. Las Cruces, Guerrero	46,400	55,123	1,188	Diesel
56	C.TG. Ciudad Constitución, Baja California Sur	33,690	47,566	1,412	Diesel
57	C.TG. Los Cabos, Baja California Sur	30,900	37,315	1,208	Diesel
58	C.Cl. Guerrero Negro, Baja California Sur	36,390	33,226	913	Diesel
59	C.TG. Caborca Industrial, Sonora	26,140	30,438	1,164	Diesel
60	C.TG. El Verde, Jalisco	29,110	28,391	975	Gas Natural
61	C.TG. Nizuc, Quintana Roo	27,630	27,941	1,011	Diesel
62	C.Cl. Santa Rosalía, Baja California Sur	26,220	24,540	936	Diesel
63	C.TG. Chávez, Coahuila	25,250	23,100	915	Gas Natural
64	C.TG. Universidad, Nuevo León	17,220	17,884	1,039	Gas Natural
65	C.TG. Culiacán, Sinaloa	17,550	17,572	1,001	Diesel
66	C.TG. Parque, Chihuahua	15,580	17,206	1,104	Diesel
67	C.TG. Leona, Nuevo León	16,570	17,121	1,033	Gas Natural
68	C.TG. Tecnológico, Nuevo León	13,400	15,794	1,179	Diesel
69	C.TG. Ciudad Obregón, Sonora	10,780	14,827	1,375	Diesel
70	C.Cl. Villa Constitución, Baja California Sur	17,170	14,228	829	Diesel
71	C.TG. Punta Prieta I (La Paz), Baja California Sur	9,870	14,173	1,436	Diesel
72	Pueblo Nuevo (Móvil), Sonora	12,050	13,082	1,086	Diesel
73	C.TG. Ciprés, Baja California	10,120	12,499	1,235	Diesel
74	C.TG. Arroyo De Coyote, Tamaulipas	6,540	11,297	1,727	Diesel

	PLANTA ESTADO	GENERACION DE ELECTRICIDAD, MW/hr	EMISIONES CO ₂ , TON METRICAS	TASA EMISION CO ₂ kg/MWh	COMBUSTIBLE PRIMARIO
75	C.TG. Xul-Ha, Quintana Roo	8,770	11,192	1,276	Diesel
76	C.TG. Chihuahua I, Chihuahua	7,980	10,198	1,278	Diesel
77	Nuevo Nogales (Móvil), Sonora	7,730	8,047	1,041	Diesel
78	C.TG. Mexicali, Baja California	5,330	7,296	1,369	Diesel
79	C.TG. Esperanzas, Coahuila	4,590	6,276	1,367	Diesel
80	C.TG. Industrial (Juárez), Chihuahua	1,980	5,178	2,615	Diesel
81	C.TG. Fundidora, Nuevo León	4,810	4,762	990	Gas Natural
82	C.CI. Yécora, Sonora	1,890	1,519	804	Diesel