

## 2. CAMBIO CLIMÁTICO

Las interacciones entre los elementos del sistema climático (atmósfera, hidrosfera, criósfera, litosfera y biosfera) son responsables de la expresión de los distintos climas sobre la superficie terrestre y como el rango de posibles interacciones es muy amplio, el clima es dinámico y siempre está cambiando, así lo demuestran las evidencias del pasado (McGregor y Nieuwolt, 1998). Estos cambios han sido consecuencia de procesos naturales, que pueden ser catalogados como causas externas e internas.

Las **causas externas** incluyen cambios en la naturaleza de la órbita de la tierra alrededor del sol y variaciones en la energía del sol. Los cambios en la órbita de la tierra alrededor del sol ocurre regularmente, la excentricidad de la misma varía en ciclos de aproximadamente 95 800 años (Goodess et al., 1992). Como resultado de estas variaciones cíclicas la radiación que se recibe en la superficie terrestre varía. En los últimos 5 millones de años a cambiado de un patrón más circular a uno más excéntrico, coincidiendo con cambios en la radiación recibida entre +0.014 y -0.17% respectivamente, sobre los niveles actuales (Henderson-Sellers y McGuffie, 1987).

La inclinación del eje de la tierra varía con una periodicidad promedio de 41 000 años. Actualmente su inclinación es de 23.5°, pero tiene una fluctuación entre 22° y 24.5°. La inclinación del eje terrestre es un importante control en la estacionalidad y tiene su máximo impacto en las latitudes altas. La oblicuidad del eje no altera la cantidad de radiación recibida, solamente su distribución (Arhens, 1994). La combinación del efecto del cambio en la excentricidad de la órbita de la tierra alrededor del sol y de la oblicuidad del eje de la tierra conducen a calentamientos o enfriamientos globales con una periodicidad de 22 000 años (McGregor y Nieuwolt, 1998).

La variabilidad en la energía emitida por el sol, como causa de cambio climático y variabilidad climática en periodos cortos, no ha sido aceptada unánimemente por la comunidad científica climatológica. Sin embargo, se presentan variaciones en la emisión de energía del sol como consecuencia de la variación en el número de manchas solares, durante periodos de mayor aparición de manchas solares el sol emite más energía que durante periodos de mínima aparición de manchas solares. Algunos estudios proporcionan evidencias de que los cambios en los ciclos de manchas solares, que van de 7 a 17 años, pudieron tener un efecto en las temperaturas globales del siglo pasado (Curie, 1996).

Los **factores internos** incluyen procesos lentos, pero de larga duración, relacionados con los cambios en la circulación oceánica, contenido gaseoso de la atmósfera y cambios en

los condiciones de límites geográficos. Por su naturaleza, estos factores pueden cambiar los climas a plazos de decenas de miles a millones de años (Goodess et al., 1992). Los factores internos están relacionados con interacciones entre los componentes del sistema climático y retroalimentaciones no lineales, de tal manera que los cambios en uno de estos componentes afectará a otros componentes. Cambios en la composición gaseosa de la atmósfera, especialmente en la concentración de CO<sub>2</sub> afecta la eficacia de este gas como cubierta térmica. A través de las épocas geológicas la concentración atmosférica de CO<sub>2</sub> ha variado marcadamente, siendo baja durante periodos fresco y alta en periodos cálidos (Genthon et al., 1987). La concentración de metano en la atmósfera ha variado a lo largo de las distintas épocas geológicas, como reflejo del total de áreas pantanosas que son la principal fuente de metano atmosférico (Goodess et al., 1992).

Otro componente involucrado en cambios climáticos son los aerosoles atmosféricos, ya sea de origen terrestre o marino, los que tienen un efecto en la temperatura ya que al incrementarse la concentración de aerosoles conlleva a un descenso de la temperatura (Arhens, 1994). La principal fuente de aerosoles marinos son algas que producen sulfatos de metilicos (Restelli y Angeletti, 1993) que al contacto con el aire se oxidan a dióxido de azufre, un aerosol que actúa como un importante núcleo de condensación y favorece la formación de nubes que producen un enfriamiento de la superficie. Las fuentes importantes de aerosoles terrestres son las áreas secas, especialmente los desiertos subtropicales que aportan polvo a la atmósfera, el cual interfiere con la transmisión de la radiación a la superficie terrestre (McGregor y Nieuwolt, 1998).

Las erupciones volcánicas pueden tener un impacto significativo en el clima. Durante las erupciones volcánicas se emiten partículas finas de ceniza y polvo así como gases que pueden llegar a la estratosfera y permanecer allí por varios años (Kelly et al., 1996). La circulación oceánica desempeña un rol importante en el cambio climático y es responsable de cambios a corto plazo y variabilidad climática que puede durar siglos o años como es el caso del fenómeno del Niño (Broecker y Denton, 1990).

Los cambios en los límites geográficos producidos por el movimiento de las placas tectónicas y el desarrollo de montañas y los cambios asociados en la distribución de tierras y aguas y el nivel del mar, todos desempeñan un papel muy importante en los cambios climáticos (Flakes, 1979). Los cambios en la distribución de masas terrestres pueden alterar los patrones de calentamiento y

enfriamiento superficiales, que tendrán impactos en la posición geográfica de los principales cinturones de vientos. El desarrollo de montañas puede alterar la circulación de los vientos al desviarlos, forzarlos a ascender y luego a descender provocando diversos patrones de precipitación (Goodess et al., 1992).

Desde hace varias décadas se ha incluido al hombre como una de las causas de cambio climático, tal cambio le es atribuido directa o indirectamente a las actividades que alteran la composición de la atmósfera, que agregada a la variabilidad climática natural observada en periodos comparables de tiempo, han provocado un fuerte consenso científico de que el clima global se vera alterado significativamente en este siglo, como resultado del aumento de la concentración de GEI tales como el dióxido de carbono, el metano, los óxidos nitrosos y los clorofluorocarbonos (Houghton et al., 1990, 1992).

Hay una amplia evidencia de que la concentración de los GEI (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O y CFCs) se ha incrementado considerablemente en los últimos 100 años. Una de las principales razones por las que los GEI continua incrementándose es debido a que la emisión por actividades humanas exceden por mucho a su grado de consumo por el medio; el balance entre las diferentes fuentes y sumideros ha sido alterado, incrementándose el uso de combustibles fósiles y aumentando la deforestación (McMichel et al., 1996). Las emisiones de CO<sub>2</sub> en 1996 alcanzaron casi 23 900 millones de toneladas, más de 400 millones de toneladas que en 1995 y cuatro veces más que el total de 1950 (CDIAC, 1999).

Las emisiones de GEI varía geográficamente, generalmente las emisiones mayores son de los países industrializados, con una pequeña contribución de los países tropicales. Datos reportados por Glantz y Krenz (1992) para 1986 tomando el consumo de energía como medida de la emisión potencial, el 50% de la energía mundial usada ocurrió en Estados Unidos, Canadá y la Ex Unión Soviética.

Aunque el CO<sub>2</sub> es el GEI dominante en volumen, los otros GEI (CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O y CFCs) colectivamente igualan al CO<sub>2</sub> en sus habilidad de aumentar el efecto invernadero atmosférico (Lal et al., 2000). Por otra parte, los modelos predicen que al incrementarse la temperatura de los océanos se aumentara la evaporación y por tanto el vapor de agua atmosférico, el cual es el GEI más potente. La adición de más vapor de agua produce un mecanismo de retroalimentación positivo al acelerar el incremento de temperatura. Sin este mecanismo de retroalimentación, la mayoría de los modelos predicen que al duplicar la actual concentración de CO<sub>2</sub> se produciría un calentamiento de solo 1 o 2 °C (Arhens, 1994).

## 2.1 ACTIVIDADES HUMANAS Y CAMBIO CLIMÁTICO.

La **deforestación** es el proceso mediante el cual se remueve la cubierta arbórea de la tierra para remplazarla por una cubierta alternativa (Neil y Davidson, 2000). La deforestación tropical es un asunto preocupante porque no solo tiene posibles efectos climáticos, además, lleva al desplazamiento de culturas indígenas, la pérdida de biodiversidad y de la fertilidad del suelo, así como procesos degradativos dentro de los que resalta la disminución en la calidad de los recursos hídricos (Glantz y Krenz, 1992).

Las principales causas de la deforestación tropical son factores socioeconómicos, el fuego y las sequías; principalmente por las actividades humanas como los aprovechamientos forestales, establecimiento de praderas, plantaciones o uso como tierras de cultivo, minería y desarrollos hidroeléctricos (Henderson-Sellers et al., 1996). Durante los últimos cincuenta años, la vegetación natural tropical ha sido destruida a un ritmo acelerado y sin precedentes; la deforestación en años recientes es del orden de 140 000 km<sup>2</sup> por año, lo que representa un 1.8% de la cobertura forestal de los trópicos, sin embargo, en algunos países los rangos de destrucción de los bosques es mucho mayor (Giambelluca, 1996).

Principales gases de efecto invernadero ( IPCC, 1996).

Gas	Principales fuentes	Concentración preindustriales (ppbv)*	Concentración en 1994 (ppbv)	Vida atmosférica (años)
Bióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )	Quema de combustibles fósiles, cemento, cambios de uso del suelo tropical.	280 000	358 000	50 a 200
Metano (CH <sub>4</sub> )	Cultivo de arroz inundado, rellenos sanitarios, ganadería, combustión de biomasa, combustibles fósiles.	700	1720	12
Oxido Nitroso (N <sub>2</sub> O)	Fertilización nitrogenada, quema de biomasa, industrial.	275	312	120
Clorofluorocarbonos (CFCs-11)	Industria frigorífica, aires acondicionados, aerosoles, aislantes.	0	0.268	50

Los efectos de la deforestación en el clima local son claros (Gash et al., 1993; Giambelluca, 1996), al remover el dosel formado por los árboles desaparecen las capas de aire aislantes bajo de ellos incrementándose el rango de temperaturas en la superficie debido al calentamiento directo del suelo durante el día y el enfriamiento rápido durante la noche por la pérdida de energía por radiación. Se incrementa el albedo de la superficie y como consecuencia se disminuye la radiación neta disponible superficialmente; esto se estima en un 8% del flujo de energía radiante de onda corta (Gash y Shuttleworth, 1991). La rugosidad de la superficie también es alterada al

remover los bosques o selvas, impactando la eficiencia de intercambios de calor latente y sensible (Giambelluca, 1996). El balance hídrico cambia debido a que la infiltración del agua de lluvia disminuye considerablemente, por lo que hay una disminución del agua almacenada, esto significa mayores escurrimientos inmediatamente después de las lluvias, combinado con serios problemas de erosión, y la disminución en los escurrimientos durante los periodos secos (Gash et al., 1996).

A escala regional, la deforestación puede tener impacto en el clima debido al incremento en el albedo superficial, la reducción de la rugosidad superficial y un decremento en la cantidad de precipitación interceptada por el follaje de los árboles. Las consecuencias de estos cambios se centran en un decremento en la radiación neta superficial, como se estableció en la escala local, y un decremento en la evapotranspiración; lo que lleva eventualmente a una actividad convectiva menor y un decremento en la precipitación (McGregor y Nieuwolt, 1998). Actualmente no se tiene evidencia observacional real del decremento en la precipitación a escala regional como resultado de la deforestación. La forma como se ha establecido el impacto climático de la deforestación a escala regional es con el uso de modelos computarizados que describen los procesos interactivos entre los componentes del sistema climático (McGuffie et al., 1995).

El efecto de la deforestación en el clima global no está aun claro. En relación a esto un aspecto importante es la cantidad de CO<sub>2</sub> liberado a la atmósfera como resultado de la quema de los bosques. Los bosques tropicales almacenan más del 80% de carbono en los árboles y menos del 20% en el suelo, mientras que los bosques de coníferas de latitudes medias localizan cerca del 50% del carbono en el suelo (Zhang et al., 1996). Cuando los árboles tropicales son cortados y quemados, la mayor proporción de carbono se libera a la atmósfera, mientras que en los bosques de coníferas la mitad permanece en el suelo, disponible para utilizarse en la regeneración de la vegetación. Se estima que cerca de un tercio de los incrementos recientes de bióxido de carbono y otros GEI en la atmósfera se originan por la deforestación tropical y la quema de grandes cantidades de vegetación (Fearnside, 2000). Las selvas y bosques tropicales secundarios tienen una menor capacidad de almacenar carbono, por lo que aun habiendo regeneración, hay una ganancia neta en el carbono atmosférico (Glantz y Krenz, 1992).

La deforestación tropical puede afectar la circulación general de la atmósfera, al tener menor precipitación en los trópicos se reduce el transporte de energía y humedad hacia las regiones polares, esto puede debilitar la

circulación de Hadley-Walker y causar una reducción de la precipitación en las latitudes medias (Hastenrath, 1985). Sin embargo, no hay evidencia directa de este efecto, aunque los estudios con modelos indican que la deforestación a gran escala tiene el potencial de afectar la circulación general atmosférica en las latitudes bajas (Zhang et al., 1996).

Por otra parte, la **desertificación** puede definirse como el proceso por el cual se crean condiciones similares al desierto en áreas donde tales condiciones no existían previamente. Dos factores principales están involucrados en el proceso de desertificación, pero la magnitud relativa de estos no se conoce, estos son las sequías (variabilidad climática) y las actividades humanas. En las regiones áridas, semiáridas y subhúmedas con relaciones de la precipitación - evaporación de 0.05 a 0.70, donde la desertificación tiene su potencial mayor de ocurrir. En tales ecosistemas se pueden presentar varios años excepcionalmente secos y/o la interferencia humana en los ecosistemas naturales puede desencadenar una cascada de procesos que conllevan a condiciones similares al desierto (Bullock y Le Houreou, 1996).

En áreas donde se practica la agricultura y ganadería la sequía puede proporcionar la catálisis para la desertificación, especialmente cuando esta persiste por varios años, las cosechas se pierden y los pastizales naturales se terminan por el sobre pastoreo y se empiezan a consumir los arbustos y árboles, acelerando la destrucción de los sistemas naturales de vegetación. Las consecuencias de estas condiciones llevan a una pérdida de la vegetación natural, una caída en la fertilidad del suelo y un incremento en la erosión del suelo.

Se estima que la desertificación avanza a un rango de 0.5 % lo que significa que casi todas las tierras áridas y semiáridas del mundo se desertificarán en el transcurso de este siglo (Bullock and Houreou, 1996). Si se continúa incrementando la presión humana en estos ambientes y con el cambio climático pronosticado, se prevé que se acelere el rango de desertificación (Hulme y Kelly, 1993).

Recientemente un reporte del Panel Intergubernamental en Cambio Climático (IPCC, 2001) sobre lo resaltante del siglo veinte, señala que la temperatura global de la superficie de la tierra se incrementó de 0.6 a 0.2 °C, un valor mayor en 0.15°C que el calculado en la Estimación del Segundo Reporte (SAR) hasta 1994. Además, se indica que 1990 fue la década más caliente y 1998 el año más caliente desde 1861, el periodo para el cual existen mediciones de la temperatura con instrumentos.

El nuevo reporte concluye: "hay nuevas y fuertes evidencias que en la mayoría de los casos el calentamiento observado en los últimos 50 años es atribuible a las actividades

humanas". El reporte apunta que la influencia humana continuara en el cambio de la composición atmosférica por todo el siglo veintiuno y que el cambio climático antropogénico persistirá por varios siglos. También señala que las emisiones de CO<sub>2</sub> debido a la quema de combustibles fósiles es la influencia dominante en el incremento de este gas en la atmósfera durante el siglo veinte.

El IPCC estima un incremento en la temperatura promedio global entre 1.4 y 5.8°C en el periodo de 1990 a 2100, basado en el reporte especial sobre escenarios de emisiones (IPCC, 2000). Esto representa un rango de calentamiento más elevado que el observado durante el siglo veinte. Las concentraciones promedio de vapor de agua en la atmósfera y la precipitación se proyectan que continúen incrementándose durante el siglo veintiuno, así como el nivel del mar (IPCC, 2001). En adición a los argumentos de calentamiento global se tienen observaciones de que las capas de hielo en los polos están retrocediendo y que 14 de los años más calientes desde 1866, todos ocurrieron después de 1979 (Castro y Cordero, 2001).

## 2.2 MODELACIÓN DEL CLIMA.

La modelación del clima se logra con el desarrollo de futuros escenarios climáticos bien fundamentados. Los escenarios pueden ser desarrollados de tres maneras (Carter et al., 1996): Escenarios Sintéticos, Análogos y Modelos Generales de Circulación (GCMs).

Los Escenarios Sintéticos involucran ajustes en la base climática a un nivel dado, por ejemplo se calculan los climas futuros incrementando la temperatura media anual en 2 °C (McGregor, 1995) y también se puede considerar una disminución de la precipitación en un porcentaje (Villers y Trejo, 1995).

Los Escenarios Análogos usan datos climáticos anteriores para tener idea de como podrían ser las futuras condiciones. Existen tres criterios para establecer estos escenarios: el primero se basa en la definición de condiciones a partir de los registros medidos con instrumentos para grupos de años cálidos o fríos y se hace una comparación de un conjunto de características con condiciones promedio (Wigley et al., 1980); el segundo criterio usa datos paleoclimáticos para reconstruir el clima regional para periodos cálidos pasados (Chapel and Syktus, 1996); el tercer criterio es un enfoque interdisciplinario en el que se considera el conocimiento de la dinámica atmosférica y las relaciones climáticas empíricas, estableciendo correlaciones para desarrollar una aproximación de como serian las futuras condiciones climáticas (Pittock y Salinger, 1982).

En los Modelos Generales de Circulación Atmosférica (GCMs) se hacen estimaciones comparando las condiciones climáticas existentes, las que son establecidas utilizando datos climatológicos de estaciones o las condiciones producidas por procedimientos control de los GCMs (predicción del clima actual), con las condiciones climáticas futuras predecidas por el GCM. Actualmente la estimación de la mayoría de los impactos del cambio climático están basados en escenarios de los GCMs (IPCC, 1996).

Los GCMs son modelos computarizados que usan ecuaciones matemáticas para describir el comportamiento y las interacciones entre los componentes del sistema climático. Son los mas sofisticados entre los modelos climáticos ya que cubren las tres dimensiones (Henderson-Sellers y McGuffie, 1987; Trenberth, 1992). Sin embargo, hay varias categorías de GCMs con diferentes niveles de sofisticación, desde algunos que comprenden solo la atmósfera hasta aquellos que comprenden también la superficie terrestre con sus características de cuerpos de agua y en ocasiones de manera simplificada la orografía continental. Los componentes esenciales de un GCM completo que comprenden la atmósfera, los océanos y los continentes son una serie de ecuaciones que representan las leyes que describen la dinámica y las propiedades físicas de la atmósfera y los océanos así como los intercambios de energía entre las diferentes superficies de la tierra y la atmósfera (McGuffie et al., 1997). La base geográfica para los cálculos es una rejilla en la que el globo terráqueo es dividido en cuadrángulos normalmente de 250 x 250 km mientras que la atmósfera se divide en un numero variado de capas. Para cada cuadrángulo y cada capa todas las ecuaciones describen los procesos dinámicos, físicos e intercambios de energía considerando las tres dimensiones para un tiempo dado. Los resultados de los cálculos son pasados a los espacios adyacentes como datos para la próxima ronda de cálculos con las ecuaciones (McGuffie et al., 1997).

Aunque los CGMs son los modelos más sofisticados para describir los procesos complejos y las interacciones entre el sistema climático, presentan una serie de problemas. En sentido geográfico son modelos burdos porque los cálculos los hacen para cuadrángulos de 250 x 250 km y no se puede modelar procesos a menor escala como pueden ser las tormentas individuales. Los resultados de GCMs producidos por diferentes centros de investigación no son siempre iguales, los cambios en temperatura y precipitación puede variar entre los modelos usados, esto es debido a que las instituciones que los generan usan diferentes esquemas de parametrización del sistema de procesos climáticos (IPCC, 1996).

## 2.3 PREDICCIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO

Los GCMs pueden usarse para hacer predicciones del tiempo hasta con 10 días de anticipación, sin embargo, su principal propósito son las predicciones climáticas. Usados en ese sentido se corre un control con el GCM, esto involucra correr el modelo en orden de simular varias décadas de clima del globo terráqueo. Las observaciones del clima actual (temperatura, precipitación, radiación ,etc.) son usadas como base para estimar la confiabilidad del control simulado. Si se presentan diferencias entre el clima estimado por el control y el clima actual, se calibra el modelo y se corre de nuevo hasta que se representa el clima actual con un aceptable grado de precisión. Una vez que se logra esto, se aplica el modelo para propósitos de predicción climática (McGregor y Nieuwolt, 1998).

Cuando los GCMs son ajustados para realizar predicciones climáticas usualmente se trabaja con diferentes niveles de GEI, estas concentraciones varían de acuerdo a los escenarios de emisiones de los GEI que se desarrollan basados en las estimaciones futuras de los niveles de población mundial futura, rangos de crecimiento económico y la cantidad de combustibles fósiles a ser quemados (IPCC, 1996).

Las predicciones de climas futuros se han hecho usando experimentos en equilibrio y transitorios. En el primer caso la concentración de GEI, usualmente el doble de  $CO_2$ , es cambiado abruptamente corriendo el modelo hasta que se alcanza el equilibrio climático. En el modo transitorio las concentraciones de los GEI se cambian gradualmente en el tiempo, lo cual esta más cercano a lo que se espera ocurra (McGregor y Nieuwolt, 1998).

Aunque la mayoría de los experimentos con GCMs solo han usado el incremento de los GEI, algunos están incluyendo el efecto de los aerosoles de azufre antropogénicos, esta inclusión ha revelado que tienen un marcado efecto de enfriamiento en el clima al incrementarse el albedo del planeta y se tienen resultados más conservadores en cuanto al incremento de temperatura comparado con los que incluyen solo a los GEI (McGregor y Nieuwolt, 1998). A pesar de esta situación y de que hay variabilidad entre los modelos en el nivel de detalle, hay un consenso generalizado entre la comunidad que estudia climatología, de que el clima global esta cambiando debido al aumento del efecto invernadero por causas antropogénicas. Para el rango completo de escenarios de emisiones y tomando en cuenta el efecto enfriador de los aerosoles antropogénicos, el cambio en la temperatura global se predice que este entre 1.4 y 5.8 °C para el año 2100 (IPCC, 2000). El calentamiento anual máximo se predice que sea en las latitudes altas del hemisferio norte como consecuencia de la reducción de la cubierta de hielo de los mares del norte. En los trópicos el calentamiento se

espera mayor en las áreas continentales, especialmente en las regiones subtropicales secas donde los niveles de humedad limitaran la evaporación y se tendría más energía disponible para calentar la atmósfera (IPCC, 1996).

La precipitación anual global se espera que se incremente debido a el realce del ciclo hidrológico. Los cambios más marcados se predicen para las latitudes altas. Para los trópicos hay una variabilidad considerable dependiendo del GCM aplicado en la predicción, con respecto a la intensidad de la lluvia se espera que aumente. Los modelos que incluyen el efecto de los GEI y de los aerosoles antropogénicos consideran una disminución en la intensidad de los sistemas de monzones (IPCC, 1996).

## 2.4 MÉXICO ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO

La vulnerabilidad de México frente a los efectos climáticos muestra signos de estarse incrementando, en los últimos años ha estado sometido a una acusada irregularidad hídrica, con fuerte tendencia a la sequía y a la desertificación en amplias zonas del territorio. Durante las ultimas dos décadas se han presentado eventos climáticos extremos como son presencia de Huracanes con mayor frecuencia e intensidad que años anteriores (SEMARNAP-CNA, 1999). De la misma manera, aumentó la secuencia de incendios forestales, en 1998 se registraron 14 445, siendo común un promedio de 7 198 entre 1992 y 1997, afectando una superficie de 849 632 ha (SEMARNAP, 2000a). Además, el país posee tierras bajas en las zonas costeras propensas a inundación bajo el escenario de aumento del nivel del mar (Ortiz y Méndez, 1999). Los eventos "El Niño" se presentan con mayor frecuencia e intensidad a partir de los años ochenta, en comparación con periodos anteriores (Magaña, 1999).

En este contexto México ha establecido acciones de compromiso con la comunidad internacional sobre el tema de cambio climático integrándose a las acciones globales que se han implementado a nivel mundial para hacer frente a los desafíos que imponen los escenarios futuros.

En 1992 México firma la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático durante la Cumbre de la Tierra, en Río de Janeiro, Brasil. La Convención establece responsabilidades comunes pero diferenciadas para los países signatarios, México pertenece al grupo de los países no-Anexo I, o países en vías de desarrollo, cuyos compromisos se reducen a realizar, actualizar y publicar periódicamente inventarios de emisiones antropogénicas de GEI, así como a llevar programas nacionales y regionales de mitigación y adaptación además de conservar sumideros de carbono (Gay et al., 1994).

En México, el Instituto Nacional de Ecología (INE) de la Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP) ha sido el encargado de planear, coordinar y evaluar las investigaciones sobre el cambio climático, desarrolladas en su mayoría dentro del marco del Estudio de País. Este proyecto ha contado con el apoyo del United States Country Studies Program (USCSP), el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y el gobierno de Canadá, e incluye el inventario nacional de emisiones antropogénicas de GEI por fuentes y sumideros, estudios sobre escenarios de emisiones y climáticos, el análisis de la vulnerabilidad del país ante este fenómeno y la evaluación de opciones de mitigación y adaptación (Gay, 2000).

Como parte fundamental de este proyecto se realizaron tres talleres del Estudio de País: México ante el cambio climático. En el Primer Taller realizado en Cuernavaca, Morelos en 1994, se discutieron la estructura del estudio y las metodologías que se seguirían en cada una de las áreas (Gay et al., 1994). Un año después se realizó el Segundo Taller del Estudio de País, en el que se explicaron los avances logrados en el año de esfuerzo (Gay et al., 1995). En 1996 se realizó el Tercer Taller del Estudio de País, en donde se mostraron los resultados finales del proyecto (Gay et al., 1996).

En 1995 se publicó el Inventario de emisiones de gases de efecto invernadero, que da a conocer las contribuciones de nuestro país a las causas de cambio climático y los sectores con más emisiones. Los resultados señalan los sectores en los que se podría invertir para reducir estas emisiones y proporciona las bases para hacer comparaciones con las emisiones de otros países (INE-SEMARNAP, 1995).

Algunos resultados de estos estudios se emplearon en la elaboración de la Primera Comunicación de México ante el Cambio Climático, que fuera presentada para cumplir con los compromisos adquiridos por México en el contexto de la ratificación de la misma, durante la Conferencia de las Partes llevada a cabo en Kyoto, Japón, en diciembre de 1997. Esta comunicación comprende el inventario de emisiones antropogénicas por fuentes y sumideros de gases de efecto invernadero; escenarios de emisiones futuras; escenarios climáticos; y estudios relativos a la vulnerabilidad potencial del país al cambio climático sobre la agricultura, los bosques, la hidrología, las zonas costeras, la desertificación y la sequía, los asentamientos humanos y el sector energía e industria (INE-SEMARNAP, 1997).

En 1999 se llevó a cabo en México el Taller sobre Evaluación de la Vulnerabilidad y Opciones de Adaptación

para México y Centroamérica, en donde se elaboraron los términos de referencia de un proyecto presentado al Fondo para el Medio Ambiente Mundial, a través del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. Se contempla la realización de este proyecto a largo plazo y se incluyen el estudio de la evaluación de la vulnerabilidad y de la adaptación de estos países a la variabilidad climática y al cambio climático (INE-SEMARNAT, 2001).

En el 2001 se presenta la Segunda Comunicación Nacional de México sobre Cambio Climático, en un contexto importante después de que el Senado de la República ratificó por unanimidad el Protocolo de Kyoto el 29 de abril del 2000. El documento resume la evolución del marco de referencia nacional con el fin de precisar el perfil general de las emisiones de los GEI, así como las políticas y medidas que han ayudado a mitigar dichas emisiones en México. Incluye también la actualización del Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero para el periodo 1994-1999 (INE- SEMARNAT, 2001).

De 1993 a la fecha, el gobierno mexicano ha organizado talleres, publicaciones, conferencias, cursos, tanto nacionales como internacionales, entre las que destaca la Décima Segunda Sesión Plenaria del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático, realizada en la Ciudad de México, en septiembre de 1997 (INE-SEMARNAT, 2001).