



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

**FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS
SISTEMA UNIVERSIDAD ABIERTA**

**ALTERACIONES DE LA BIODIVERSIDAD
COMO FACTOR CAUSAL DEL
CAMBIO CLIMÁTICO**

**TESINA
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
LICENCIADO EN GEOGRAFIA**

P R E S E N T A

OSCAR GUSTAVO COURRECH SÁNCHEZ

ASESOR: MTRO. JOSE MANUEL ESPINOSA

MÉXICO D. F.

MARZO 2008



Universidad Nacional
Autónoma de México



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.

ÍNDICE GENERAL

| | |
|--|----|
| Introducción..... | 2 |
| Objetivo general..... | 4 |
| Justificación..... | 5 |
| CAPÍTULO 1. Causas del cambio climático..... | 8 |
| 1. Variabilidad climática..... | 10 |
| 1.1. Causas naturales..... | 13 |
| 1.1.1. Variaciones solares..... | 13 |
| 1.1.2. Variaciones orbitales..... | 15 |
| 1.1.3. Campo magnético terrestre..... | 17 |
| 1.1.4. Deriva continental..... | 20 |
| 1.1.5. Corrientes oceánicas..... | 22 |
| 1.1.6. Gases efecto invernadero (GEI)..... | 25 |
| 1.1.7. Actividad volcánica | 29 |
| 1.2. Causas antrópicas..... | 32 |
| 1.2.1. Cambios de uso de suelo..... | 32 |
| 1.2.2. Deforestación..... | 33 |
| 1.2.3. Uso de combustibles fósiles..... | 38 |
| 1.2.4. Residuos por consumo, industria y transporte.... | 40 |
| 1.2.5. Agricultura..... | 42 |
| 1.2.6. Cambios en la concentración de gases efecto invernadero (GEI)..... | 45 |
| 1.3. Conductores antrópicos y naturales del cambio climático..... | 50 |
| 1.4. Alteraciones del ciclo del carbono y biogeoquímicas...53 | |
| 1.5. Impactos del cambio climático..... | 57 |

| | |
|--|-----|
| CAPÍTULO 2. Biodiversidad y cambio climático..... | 68 |
| 2.1. Biodiversidad en el mundo..... | 74 |
| 2.2. Biodiversidad en México..... | 76 |
| 2.3. Importancia de la biodiversidad..... | 77 |
| 2.4. Importancia de la biodiversidad en México..... | 83 |
| 2.5. Alteraciones de los ecosistemas terrestres y marinos..... | 88 |
| 2.6. Proyecciones del cambio climático a futuro..... | 95 |
| | |
| CAPÍTULO 3. Mitigación y adaptación del cambio climático en la biodiversidad..... | 106 |
| 3.1. Mitigación del cambio climático..... | 106 |
| 3.2. Mitigación en las tierras y ecosistemas terrestres (secuestro de carbono)..... | 115 |
| 3.3. Mitigación del cambio climático en México..... | 118 |
| 3.4. Adaptación al cambio climático..... | 127 |
| 3.5. Soluciones para reducir el impacto ambiental del hombre en el planeta..... | 131 |
| | |
| Discusión..... | 135 |
| | |
| Conclusiones..... | 136 |
| | |
| Referencias..... | 141 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | | |
|-------------|--|-----|
| Figura 1 | Cambio de temperatura continental y global..... | 3 |
| Figura 1.2 | Variabilidad climática..... | 11 |
| Figura 1.3 | Variabilidad climática (escala)..... | 12 |
| Figura 1.4 | Variabilidad climática (sistema climático)..... | 12 |
| Figura 1.5 | Variación solar..... | 15 |
| Figura 1.6 | Oscilación terrestre..... | 17 |
| Figura 1.7 | Campo magnético terrestre..... | 18 |
| Figura 1.8 | Polo magnético actual..... | 19 |
| Figura 1.9 | La Pangea..... | 22 |
| Figura 1.10 | Corrientes oceánicas..... | 23 |
| Figura 1.11 | Circulación termohalina..... | 25 |
| Figura 1.12 | Volcán en erupción..... | 30 |
| Figura 1.13 | Volcán en erupción (tipo krakatoano)..... | 31 |
| Figura 1.14 | Registro de cambios en la composición de la atmósfera..... | 46 |
| Figura 1.15 | Componentes de fuerza radiativa..... | 51 |
| Figura 1.16 | Ciclo del carbono..... | 54 |
| Figura 1.17 | Ciclo biogeoquímico..... | 56 |
| Figura 1.18 | Impactos del cambio climático..... | 60 |
| Figura 2.19 | Biodiversidad global..... | 74 |
| Figura 2.20 | Biodiversidad global, plantas vasculares..... | 75 |
| Figura 2.21 | Bosques..... | 83 |
| Figura 2.22 | Porcentaje de Multi-modelos y cálculo de tasas por calentamiento en la superficie..... | 97 |
| Figura 2.23 | Proyecciones de temperaturas superficiales..... | 99 |
| Figura 2.24 | Patrones proyectados de cambios de precipitación..... | 101 |

TABLAS

| | | |
|-----------|--|-----|
| Tabla 2.1 | Número estimado de especies descritas y total global posible..... | 75 |
| Tabla 2.2 | Servicios de ecosistemas..... | 79 |
| Tabla 2.3 | Superficie en el 2002 y proyectada para 2020 y 2050 de los tipos de vegetación en México..... | 87 |
| Tabla 2.4 | Porcentajes de proyecciones globales del calentamiento superficial y elevación del nivel del mar para finales del siglo XXI..... | 98 |
| Tabla 3.5 | Porcentaje especial de escenarios de emisiones del IPCC (SRES)..... | 108 |

INTRODUCCIÓN.

Las alteraciones al medio ambiente a nivel global tienen repercusiones importantes en el presente y a futuro sobre el cambio climático, ya que el hombre se ha encargado de manipular casi en su totalidad los ambientes de la Tierra, pues desde que se hace sedentario, no ha dejado de desarrollar tecnologías para satisfacer sus necesidades, comodidad y mejorar su estilo de vida.

La explotación de recursos naturales a lo largo de la historia ha arrojado anualmente a la atmósfera millones de toneladas de dióxido de carbono (CO₂), esto derivado de la quema de combustibles fósiles, tala y quema forestal, quema de biomasa y otros procesos no energéticos como la producción de cemento, lo cual sumado contribuye con 2.4% del total global de las emisiones (Hendriks, et al., 1998), y es responsable de la mayor parte del incremento de la concentración atmosférica de CO₂ (Schwartz, 1993); de los gases de efecto invernadero (GEI). El CO₂ es considerado el más importante, ya que se caracteriza por una elevada persistencia en la atmósfera que varía entre 5 y 200 años y es el gas que se emite en mayor proporción (Ledley, et al., 1999).

El CO₂ también se presenta de manera natural en la atmósfera, sin embargo, su concentración ha aumentado significativamente (IPCC, 2001), este incremento promueve el calentamiento global y con ello el cambio climático (OCDE, 1998). El cambio climático global, es resultado de la variabilidad interna del sistema climático y de factores externos tanto naturales como producto de las actividades humanas (IPCC, 2001). La precipitación también se incrementó entre 5 y 10% en las altitudes medias y altas del hemisferio norte, y se redujo en 3% en promedio en las zonas subtropicales (IPCC, 2007). La cobertura de nieve y la extensión de los hielos disminuyeron en cerca del 10% en el hemisferio norte

desde finales de los años sesenta. Los fenómenos de El Niño se hicieron más frecuentes, persistentes e intensos desde la mitad de los años setenta en comparación con los cien años previos (IPCC, 2001), también ha presentado un incremento en número e intensidad de huracanes, aumento de temperatura en la región de los trópicos, así como inviernos más fríos; también la cantidad de precipitación ha cambiado, ahora es más abundante en tiempo y áreas más pequeñas.

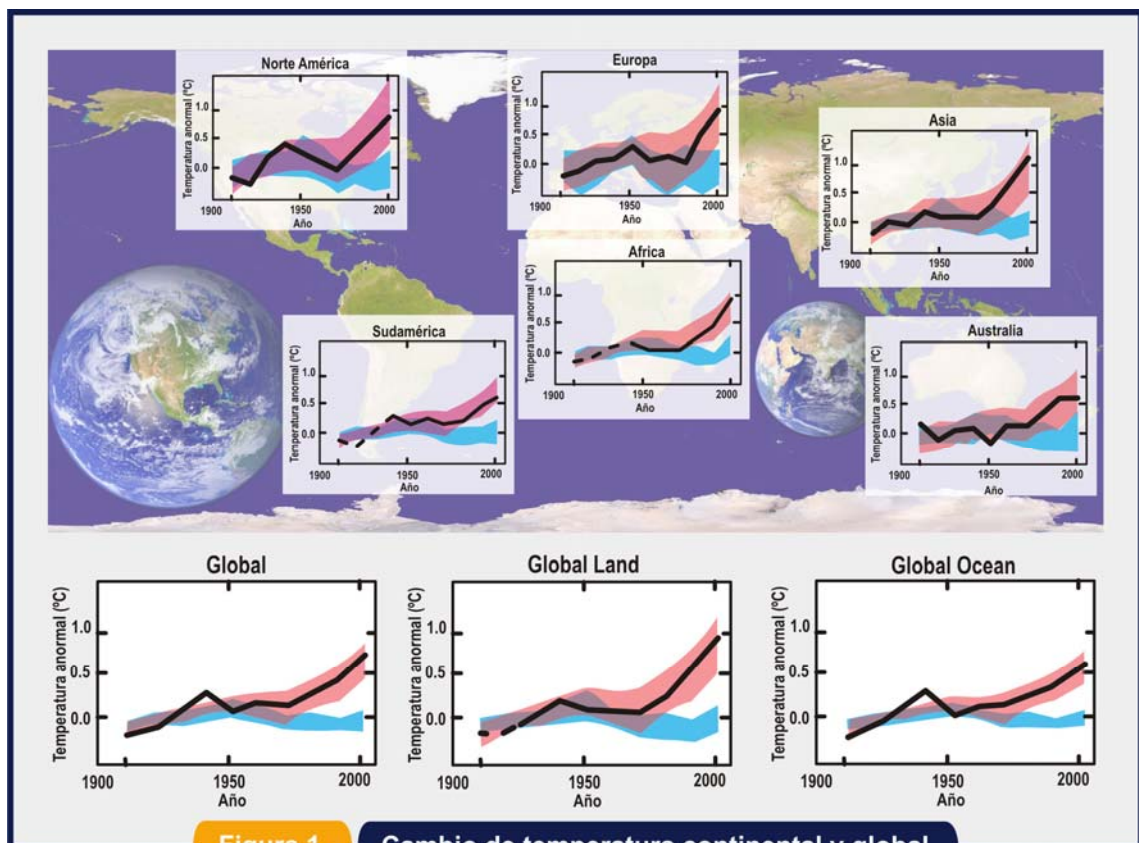


Figura 1. Cambio de temperatura continental y global

Comparación de continentes a escala global, cambios de la temperatura en la superficie con resultados simulados usando modelos climáticos naturales y antropogénicos forzados. El promedio por década de observaciones se muestra para el periodo de 1906-2005 (línea negra) contra la traza de la década del centro y relativa al promedio correspondiente por 1901-1950. Donde las líneas se juntan la cobertura espacial es menor al 50%. El trazado de la banda azul muestra un rango de 5-95% en 19 simulaciones para 5 modelos climáticos usando solo el de forzamiento natural debido a la actividad solar y volcanes. El trazado de la banda roja muestra un rango de 5-95% de 58 simulaciones para 14 modelos climáticos usando ambos, el natural forzado y antropogénico forzado (IPCC, 2007).

OBJETIVO GENERAL.

Conocer las alteraciones de la biodiversidad que dan como resultado un cambio climático global por el uso excesivo de combustibles fósiles.

Objetivos particulares.

- Conocer las causas antrópicas y naturales que presionan al cambio climático.
- Definir las fuentes antrópicas y naturales causantes de la producción de gases efecto invernadero (GEI) en particular del CO₂.
- Señalar las consecuencias del efecto invernadero.
- Analizar las posibles acciones del cambio climático global.
- Indicar los escenarios derivados de las distintas medidas de mitigación propuestas del cambio climático global.

JUSTIFICACIÓN.

Se considero en este estudio una revisión de los trabajos de el Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés) ha expresado en numerosos estudios y conferencias, la inclusión de acuerdos y tratados enfocados a enfrentar la problemática y en lo posible, la solución de la crisis ambiental. En este trabajo se analizan las alteraciones ambientales causadas por factores antrópicos y también los procesos naturales, que a su vez, provocan el cambio climático global. Dentro de este también se proponen posibles soluciones para reducir el impacto de la influencia como seres humanos, siendo el hombre un factor importante en la variación de la biodiversidad y el cambio climático por el uso excesivo de combustibles fósiles y tala inmoderada de los bosques.

Las bases teóricas y sus efectos futuros, así como las medidas tomadas actualmente por nuestros gobiernos, las recomendaciones de científicos y éste trabajo como propuesta del manejo del tema y sus variables para enfrentar adecuadamente el problema. Por otro lado, existen evidencias de que el cambio climático de la Tierra es un proceso natural y no antrópico.

Este trabajo se divide en tres capítulos que son: causas, efecto en la biodiversidad, adaptación y mitigación al cambio climático. En el primer capítulo se muestran las causas antrópicas y naturales tanto factores como elementos; los conductores de las distintas fuerzas radiativas que provocan la alteración de ciclos importantes como: ciclo del carbono, ciclos biogeoquímicos y los impactos de éstos, que muestran la dinámica del cambio climático.

En el segundo capítulo se presenta información sobre biodiversidad y su importancia, así como los servicios ambientales que nos brinda; las alteraciones que hacemos a los distintos ecosistemas y cuáles serían sus consecuencias a futuro si se sigue degradando el ambiente.

En el tercer capítulo se mencionan las adaptaciones y las formas de mitigar el cambio climático en los distintos ecosistemas, tanto marinos como terrestres y las posibles soluciones que se le pueden dar a un nivel personal, para reducir el impacto ambiental del hombre sobre la Tierra. Este estudio consta también de una discusión y una conclusión.

CAPÍTULO 1. CAUSAS DEL CAMBIO CLIMATICO.

El cambio climático según la Convención Marco sobre el Cambio Climático, en su artículo 1, la define como: *“cambio del clima atribuido directa o indirectamente a actividades humanas que alteran la composición de la atmósfera mundial añadiendo la variabilidad natural del clima observado durante periodos comparables”*.

Para entender un poco sobre lo que hablaremos tenemos que definir variabilidad climática. *“La variabilidad del clima se refiere a las condiciones climáticas medias y otras estadísticas del clima (como las desviaciones típicas, los fenómenos extremos, etcétera.) en las escalas temporales y espaciales que se extienden más allá de la escala de un fenómeno meteorológico en particular, se debe a procesos naturales internos que ocurren dentro del sistema climático (variabilidad interna), o variaciones en el forzamiento externo natural o antropogénico (variabilidad externa)”* (Maunder, 1992).

Si bien el clima varía naturalmente, los registros y los modelos climáticos desarrollados por el Panel intergubernamental del cambio climático (IPCC), sugieren que la mayor parte del calentamiento de los últimos 50 años se debe al incremento de los GEI generados por las actividades humanas (Figura 1) (NAS, 2001). El IPCC plantea que la temperatura media mundial en la superficie ha aumentado de $0.2 \pm 0.6^{\circ}\text{C}$ desde fines del siglo XIX. Los años noventa, y en particular 1998, parecen haber sido el decenio y el año más cálido respectivamente desde 1961 (IPCC, 2001). El aumento de la temperatura, asociado con el cambio climático, ha afectado tanto a ecosistemas terrestres como marinos en muchas partes del mundo. (Townsend et al., 2002).

Los ecosistemas terrestres son alterados por el constante cambio de uso de suelo causados por la producción de bienes y servicios de diversa índole, como urbanos, rurales, ganaderos, forestales, agrícolas, industriales, etc. que han intensificado la pérdida y deterioro de los ecosistemas terrestres. El cambio de uso de suelo es quizá el factor más importante que amenaza la permanencia de los ecosistemas terrestres y de su biodiversidad en el Mundo (Vitousek et al., 1997). Las actividades que mayormente promueven el cambio en el uso de suelo son la agricultura y la ganadería tanto en México como en el mundo (Conabio, 1998). La actividad agropecuaria genera la reducción de bosques y selvas (deforestación) o de otros ecosistemas (matorrales y pastizales naturales) por la apertura de terrenos para la cría de ganado (Conabio, 1998) o bien por las prácticas agrícolas que demandan nuevos espacios (Semarnat, 2003).

El creciente uso de combustibles fósiles y la sobre explotación de recursos, representan una amenaza a los ecosistemas marinos cuando la extracción por pesca es excesiva, las poblaciones pueden recuperarse lentamente y empobrecerse genéticamente o, incluso, extinguirse local o globalmente. De manera indirecta, la pesca también afecta a las comunidades marinas por la modificación del hábitat, la alteración del flujo y la dinámica de la cadena trófica (Alverson, et al., 1994). Por otro lado la explotación petrolera y de gas natural en yacimientos marinos afecta ecosistemas costeros y de mar abierto, siendo su principal y más común impacto el deterioro de la calidad del agua (Patín, 1999). Los bienes y servicios ambientales que ofrecen las zonas costeras y oceánicas las convierten en áreas sociales y económicamente activas e importantes en el mundo. El crecimiento demográfico en estas zonas impacta a los ecosistemas marinos principalmente por la explotación de sus recursos, la construcción de infraestructura y el incremento en la generación de residuos a nivel local (Burke, et al., 2000).

Actualmente existe un fuerte consenso científico por parte del IPCC con relación a que el clima global se verá alterado significativamente en este siglo como resultado del aumento de concentraciones de gases invernadero tales como el dióxido de carbono, metano, óxidos nitrosos y clorofluocarbonos (Houghton, et al., 1990). Estos gases están atrapando una porción creciente de radiación infrarroja terrestre por lo que se espera que aumente la temperatura planetaria con un máximo de 1.5 y 4.5 °C., como resultado de esto, se estima que los patrones de precipitación global, también se alterarán en los próximos años gradualmente (Sargent, 1988).

Asociados a los potenciales cambios en el clima anteriormente mencionados, causados por los GEI, habrá grandes alteraciones en los ecosistemas globales. Algunos otros trabajos científicos sugieren que algunas especies arbóreas, podrán variar en su hábitat significativamente como resultado del cambio climático global. Dentro de los impactos directos sobre seres humanos, se puede mencionar la expansión del área de enfermedades infecciosas tropicales, cuya causa es el incremento de la temperatura, lo que promueve la proliferación de insectos, que viven en condiciones climáticas de la región tropical, y elementos como el agua, calor y alimento propician que se propaguen enfermedades tales como el dengue (Becker, 1997).

1. Variabilidad climática.

La variabilidad climática es la fluctuación natural recurrente en el clima normal en escalas temporales y sus causas son, generalmente, naturales (Gómez y Galicia, 2004). Las variaciones han dependido de mecanismos internos o externos del planeta que operan en diferentes frecuencias como los cambios en la forma de la órbita terrestre

(excentricidad), la inclinación del eje terrestre (oblicuidad) y la sucesión de las estaciones del año (precesión).

Las variaciones climáticas se clasifican en periódicas (con un ciclo de aparición conocido y predecible como lluvias y monzones), cuasi periódicas (con ciclos recurrentes pero menos predecibles, como el fenómeno de El Niño-Oscilación del Sur [ENSO, por sus siglas en inglés] con un periodo de dos a diez años) y aperiódicas (esporádicas, que con su repentino surgimiento afectan la dinámica del sistema climático, como sucede con los ciclones tropicales) (Figura 1.2) (Gómez y Galicia, 2004).



Figura 1.2

Variabilidad Climática

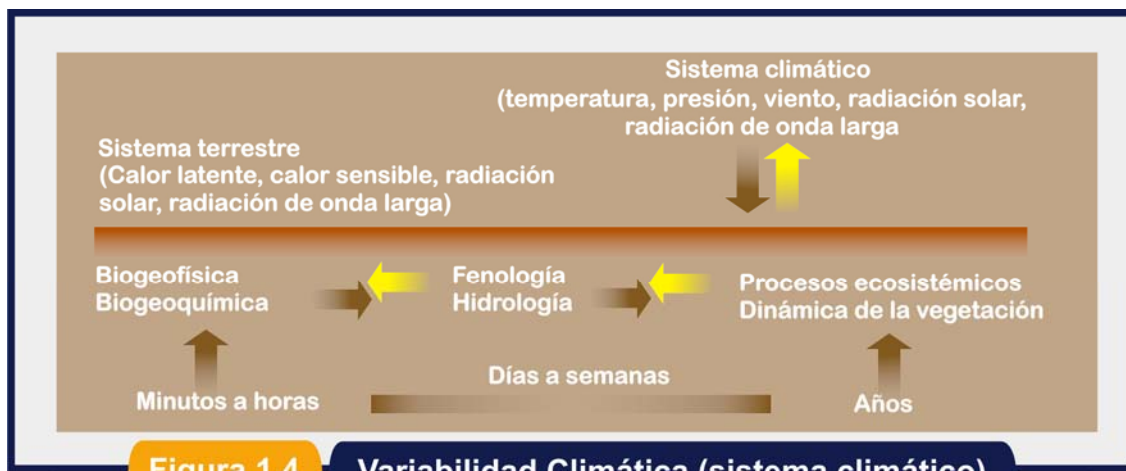
Fuente: Gómez y Galicia 2004. Revista Ciencia y Desarrollo

Los cambios en el clima también fueron originados por los desplazamientos o derivas de los polos y los continentales, los cambios en la composición química de la atmósfera, la emisión de aerosoles por la actividad volcánica, modificaciones en la litosfera, biosfera, criosfera y océanos, y de manera reciente el cambio de uso de suelo, la contaminación y la emisión de gases de efecto invernadero (Figura 1.3) (Gómez y Galicia, 2004).



Fuente: Gómez y Galicia 2004. Revista Ciencia y Desarrollo

Los ecosistemas terrestres son uno de los elementos del sistema climático más sensibles a la variación climática, su estructura y funcionamiento se encuentran acoplados al clima (Figura 1.4). Los desiertos, selvas tropicales, bosques templados y demás hábitats tienen una distribución (ubicación), productividad primaria neta (cantidad de biomasa producida) y fenología (aparición de hojas, floración, fructificación) acordes con la normalidad del clima local, de manera primordial con la precipitación y la temperatura (Gómez y Galicia, 2004).



Fuente: Gómez y Galicia 2004. Revista Ciencia y Desarrollo

Para entender más sobre la variación climática, se explicará a detalle sobre los elementos de los mecanismos internos y externos del planeta que producen este cambio climático que se está viviendo.

1.1. Causas naturales.

1.1.1. Variaciones solares.

La temperatura media de la Tierra depende en gran medida, del flujo de radiación solar que recibe. Sin embargo, debido a que ese aporte de energía apenas varía en el tiempo, no se considera que sea una contribución importante para la variabilidad climática. Esto sucede porque el Sol es una estrella de tipo G en fase de secuencia principal, resultando muy estable. El flujo de radiación es, además, el motor de los fenómenos atmosféricos, ya que aporta la energía necesaria a la atmósfera para que éstos se produzcan (NAI, 2000).

Por otro lado, a largo plazo las variaciones solares se hacen apreciables ya que el Sol aumenta su luminosidad a razón de un 10% cada 1,000 millones de años. Debido a este fenómeno, en la Tierra primitiva que sustentó el nacimiento de la vida, hace 3,800 millones de años, el brillo del Sol era un 30% menor del actual (NAI, 2000).

Las variaciones solares en el campo magnético solar y, por tanto, en las emisiones de viento solar, también son importantes, ya que la interacción de la alta atmósfera terrestre con las partículas provenientes del Sol puede generar reacciones químicas en un sentido u otro, modificando la composición del aire y de las nubes así como la formación de éstas (Figura 1.5) (NAI, 2000).

El Sol es un cuerpo muy dinámico. Observamos más dramáticamente los cambios en sus llamaradas solares y las prominencias que emanan de su superficie. La naturaleza dinámica de nuestra estrella tiene consecuencias que no se limitan al espacio cercano al Sol: La Tierra se encuentra frecuentemente con niveles de variables de radiación (energía en forma de ondas electromagnéticas) y de viento solar. Las ramificaciones de estas variaciones no están enteramente claras (NAI, 2000).

Hoy los científicos manejan la cifra de 1,368 vatios por metro cuadrado (W/m^2) para indicar la “constante solar”. Este es un valor promedio de la energía emitida por el Sol durante su ciclo de 11 años, esta emisión puede variar hasta $1,4 W/m^2$. Una vez más, la constante solar es solo una media, y por sí misma, no nos da información sobre las variaciones en: radiación electromagnética (ondas energéticas), viento solar, o intensidad de campo magnético (NAI, 2000).

Durante las épocas punta de emisiones (llamadas máximos solares) existe una posibilidad mucho mayor para la ocurrencia de fenómenos tales como las Eyecciones de Masa Coronal (CMEs), las cuales son intensas tormentas de viento solar. Las CMEs solares arrojan erupciones de hasta cien mil millones de toneladas de gas electrificado hacia la Tierra a altísimas velocidades, de hasta 2,000 kilómetros por segundo (NAI, 2000).

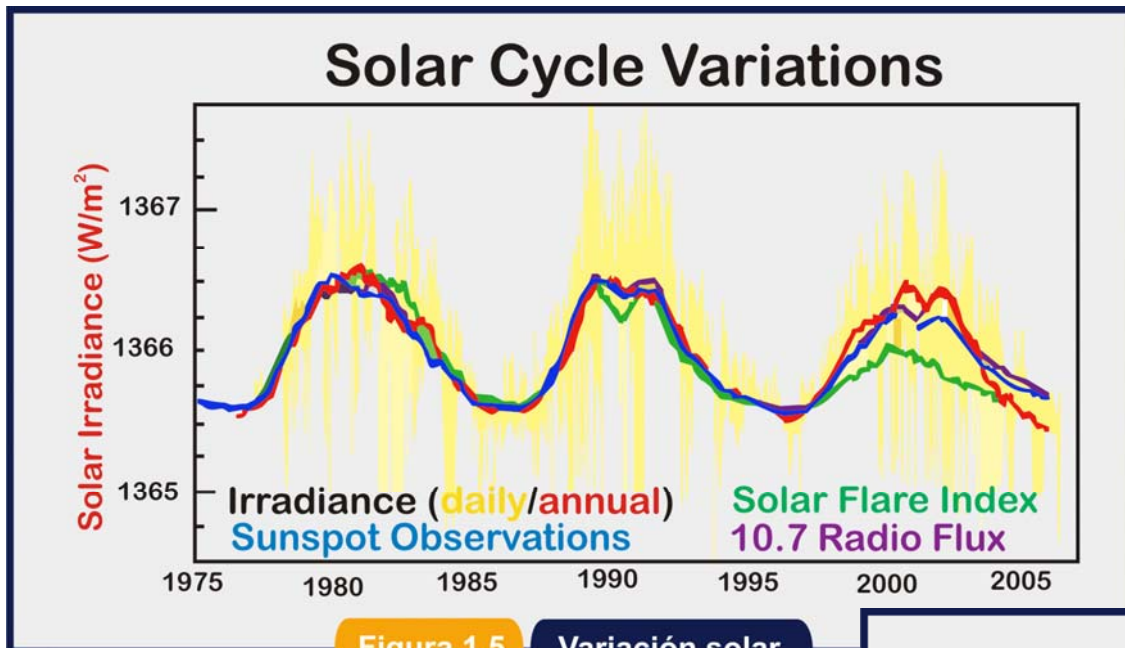
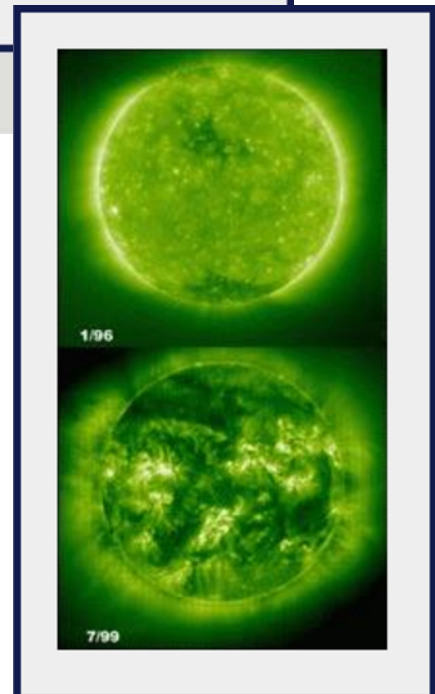


Figura 1.5 Variación solar

Fuente: IPCC, 2000 y NASA, 2000



1.1.2. Variaciones orbitales.

Las variaciones orbitales son las principales causas de los periodos glaciales e interglaciales holocénicos. La luminosidad solar se mantiene prácticamente constante a lo largo de millones de años, pero no así en el caso de la órbita terrestre. Ésta oscila periódicamente (movimiento de precesión) haciendo que la cantidad media de radiación que recibe cada hemisferio fluctúe a lo largo del tiempo. Estas variaciones son las que provocan las pulsaciones glaciares a modo de veranos e inviernos de largo período estacional (Álvarez, 1987).

A estas variaciones se les llama períodos glaciales e interglaciares. Hay que tener en cuenta varios factores que contribuyen a modificar las características orbitales haciendo que la insolación media en uno y otro hemisferio varíe aunque no lo haga el flujo de radiación global (Álvarez, 1987).

El rango de variación en la oblicuidad de la Tierra, la excentricidad, la inclinación axial, y la precesión de la órbita de la Tierra varían en el transcurso del tiempo produciendo las glaciaciones del Cuaternario cada 100,000 años. El eje de la Tierra completa su ciclo de precesión cada 25,800 años, al mismo tiempo que el eje mayor de la órbita de la Tierra gira, en unos 22,000 años. Además, la inclinación del eje de la Tierra cambia entre 21.5° a 24.5° en un ciclo de 41,000 años (Figura 1.6). El eje de la Tierra tiene ahora una inclinación de 23.5° respecto a la normal al plano de la eclíptica (Olsen y Kent, 1996).

La interacción de la oscilación con la vida en el planeta se efectúa en la forma que inciden los rayos solares sobre la superficie terrestre y por tanto, alterando la vida en su temporalidad, espacio y tiempo de exposición, modificando de alguna forma los meteoros en algunas zonas determinadas en un espacio de la Tierra (ejemplo: auroras boreales).

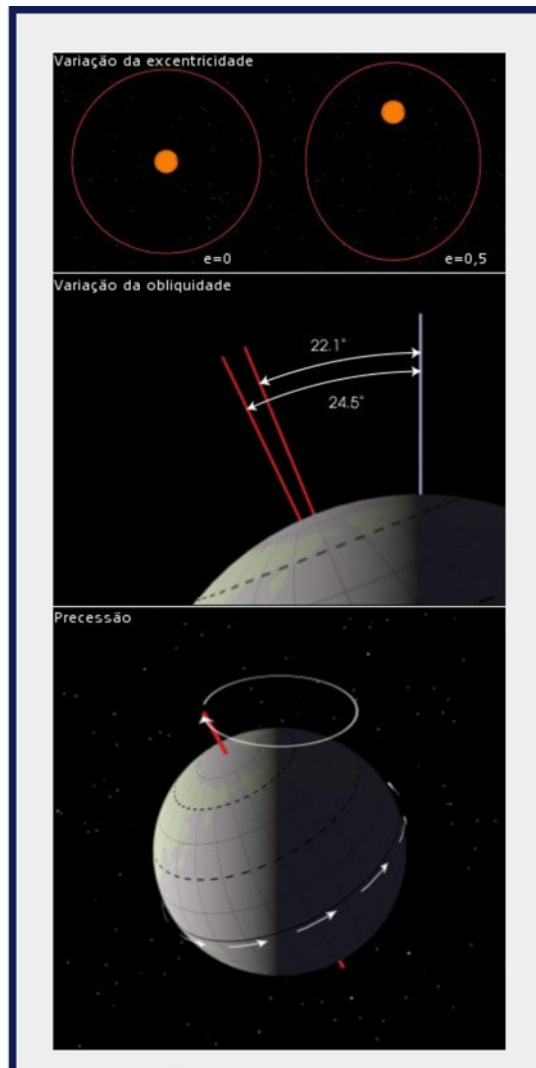


Figura 1.6

Oscilación terrestre.

Fuente: Geofísica. Portugal, 2000

1.1.3. Campo magnético terrestre.

El *campo magnético* de la Tierra varía en el curso de las eras geológicas, lo que se denomina *variación secular*. Según se ha comprobado por análisis de los estratos al considerar que los átomos de hierro contenidos en estos, tienden a alinearse con el campo magnético terrestre (Figura 1.7). La dirección del campo magnético queda registrada en la orientación de los dominios magnéticos de las rocas y el ligero magnetismo resultante se puede medir (Glatzmaier y Roberts, 1996).

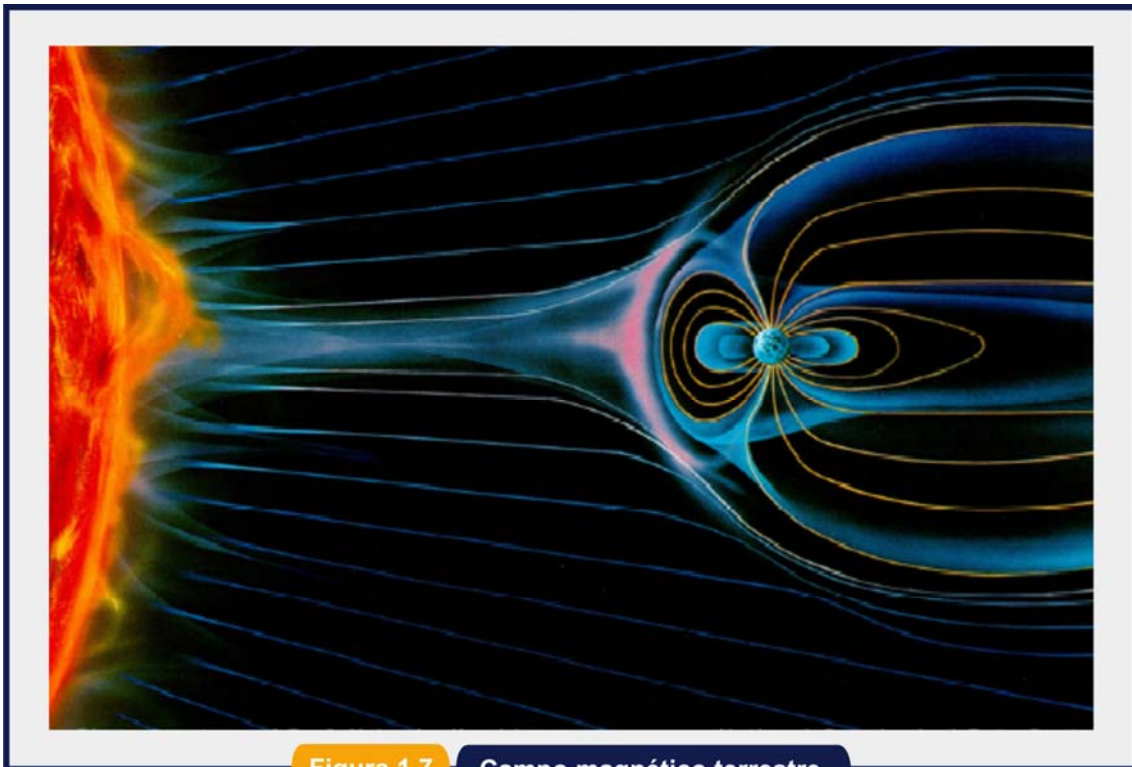


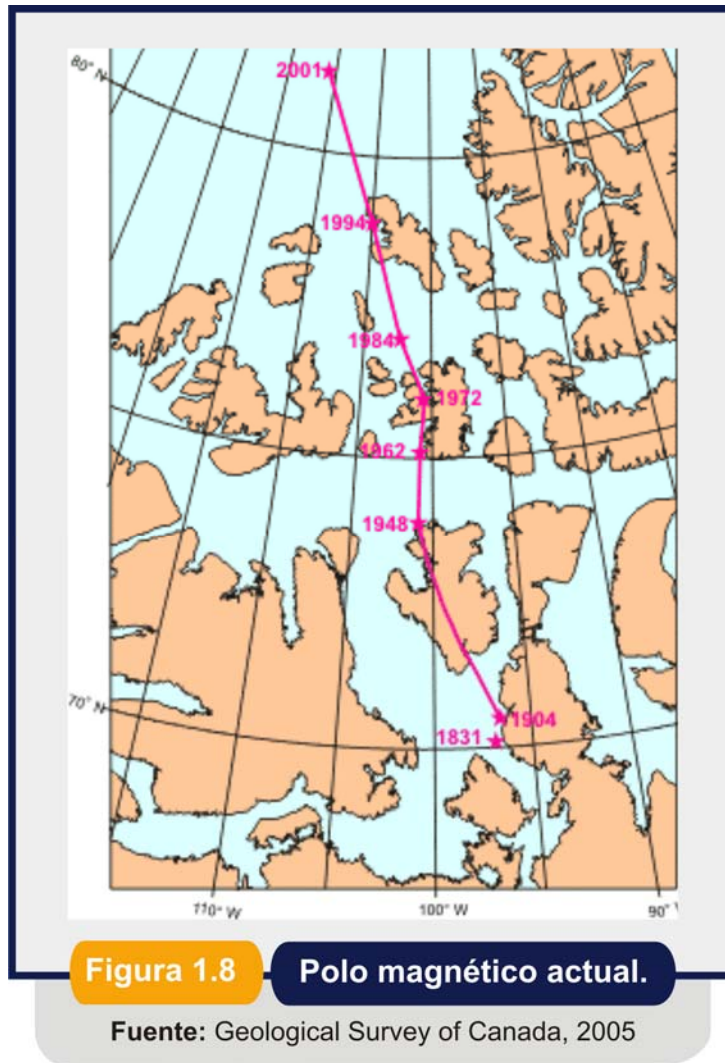
Figura 1.7 Campo magnético terrestre.

Midiendo el magnetismo de rocas situadas en estratos formados en periodos geológicos distintos se elaboraron mapas del campo magnético terrestre en diversas eras. Estos mapas muestran que ha habido épocas en que el campo magnético terrestre se ha reducido a cero para luego invertirse (Glatzmaier y Roberts, 1996).

Durante los últimos cinco millones de años se han efectuado más de veinte inversiones, y la más reciente hace 700,000 años. Otras inversiones ocurrieron hace 870,000 y 950,000 años sucesivamente. El estudio de los sedimentos del fondo del océano indica que el campo estuvo prácticamente inactivo entre 10 y 20 mil años, esto hace poco más de un millón de años (Glatzmaier y Roberts, 1996).

No se puede predecir cuándo ocurrirá la siguiente inversión, porque la secuencia no es regular. Ciertas mediciones recientes muestran una reducción de 5% en la intensidad del campo magnético en los últimos 100 años. Si se mantiene este ritmo, el campo volverá a

invertirse dentro de unos 2,000 años aproximadamente (Song y Richards, 1996). Por el momento, se encuentra localizado en el norte de Canadá, aproximadamente a unos 600 km. de la villa más cercana, Resolute Bay, la cual cuenta con una población de 300 habitantes (Figura 1.8).



La alteración en el campo magnético de la Tierra es causada por el Sol y por lo tanto, refleja los cambios del polo magnético, e impacta directamente en la atmósfera, en las capas que muestran diferentes temperaturas, que varían de -70°C hasta $1,500^{\circ}\text{C}$ y se ven alteradas por estos fenómenos. Dichas alteraciones afectan en la presión atmosférica, constitución de nubes, precipitación y temperatura ambiente, provocando

así, un aumento en la frecuencia de huracanes, vientos con rachas más fuertes e incremento en la irradiación solar por m².

1.1.4. Deriva continental.

La Tierra ha sufrido muchos cambios desde su origen hace 4,600 millones de años. Hace 225 millones de años todos los continentes estaban unidos, formando a la Pangea, y había un océano llamado Panthalassa (Schwarzacher, 1993). Esta disposición favoreció el aumento de las corrientes oceánicas y provocó que la diferencia de temperaturas entre el Ecuador y los polos fuera muchísimo menor que en la actualidad. La tectónica de placas ha separado los continentes y los ha puesto en la forma actual que conocemos. El Océano Atlántico se ha ido formando desde hace 200 millones de años (Schwarzacher, 1993).

La deriva continental es un proceso sumamente lento, por lo que la posición de los continentes ha fijado el comportamiento del clima durante millones de años. La Pangea se ha extendido en fragmentos durante cientos de miles de años, este alejamiento ha moldeado el clima lentamente (Quinn et al., 1991).

El océano Atlántico se está ensanchando a medida que África y América se separan; en cambio, el océano Pacífico está reduciendo su tamaño. También el mar Mediterráneo se estrecha y terminará por desaparecer, pues África avanza hacia el norte, al encuentro de Europa (Olsen, 1986). Con la desaparición del Mediterráneo el clima en esta región se modificará volviéndolo más extremo.

Cuando La Pangea (Figura 1.9) se transformó en Gondwana y Laurasia, la India formaba parte de Gondwana, rompiéndose y se desplazándose rápidamente hacia el norte a la velocidad inusualmente de 17 cm. anuales. Al chocar con Asia y unirse a este continente provocó el plegamiento de la corteza y la formación de la cordillera del Himalaya, y éste fenómeno que aún prosigue (Olsen, 1986).

Se cree que la unión o sutura de masas de tierra continuará repitiéndose una y otra vez en el futuro, y que todos los continentes volverán a reunirse en un super-continente. Con esto, el clima sufrirá modificaciones importantes, ya que el albedo modificará la composición y estructura de la atmósfera.



1.1.5. Corrientes oceánicas.

Una corriente oceánica o marina es un movimiento de traslación, continuo y permanente de una masa de agua determinada de los océanos y en menor grado de los mares más extensos (Barber et al., 1999).

Las corrientes se originan por la diferencia en la densidad del agua, que es mayor cuanto más fría y/o salada sea, tendiendo a hundirse para dar lugar a una circulación termohalina condicionada por la diferencia de temperatura y/o salinidad en vertical (Figura 1.10). Este movimiento tiende a descender, provocando el afloramiento del agua más profunda y cálida para ocupar su lugar. Este descenso puede verse dificultado por el

aporte de agua dulce, como podría ser la desembocadura de un río (Dokken y Jansen, 1999).

La circulación termohalina o circulación convectiva afecta de modo global al conjunto de las masas de agua oceánicas. Es muy importante por su significativa participación en el flujo neto de calor desde las regiones tropicales hasta las polares, sin la cual no se comprendería el clima terrestre (Marlow, 2001).

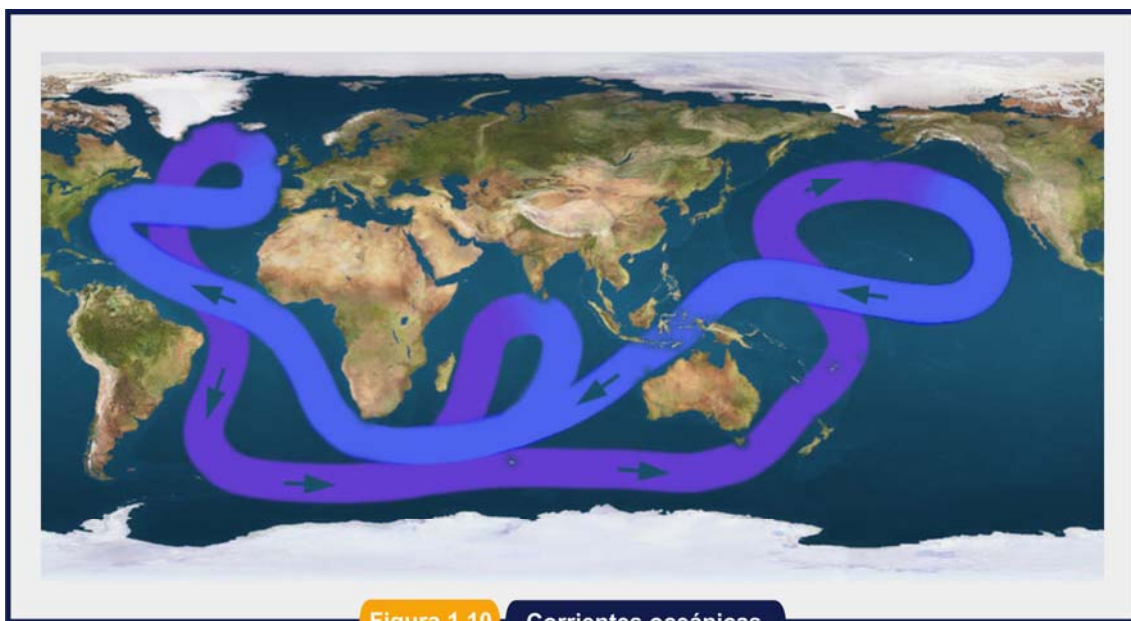


Figura 1.10 Corrientes oceánicas

Fuente: NASA, 2000.

En conjunto la circulación global puede describirse como un flujo relativamente superficial de agua que se calienta en el Pacífico y el Índico hasta el Atlántico a nivel del Ecuador. En dichas latitudes tropicales sigue recibiendo calor, para finalmente hundirse en el Atlántico Norte, retornando en niveles más profundos (Tarasov y Peltier, 2005).

La circulación es debida al movimiento de convección, es decir, que se produce por diferencias de densidad, las masas de agua más densas tienden a hundirse y las menos densas ascienden. En el caso de las masas oceánicas las diferencias de densidad

dependen de dos factores, la temperatura y la salinidad. La densidad decrece cuando aumenta la temperatura y crece con la salinidad (Morrill y Jacobsen, 2005).

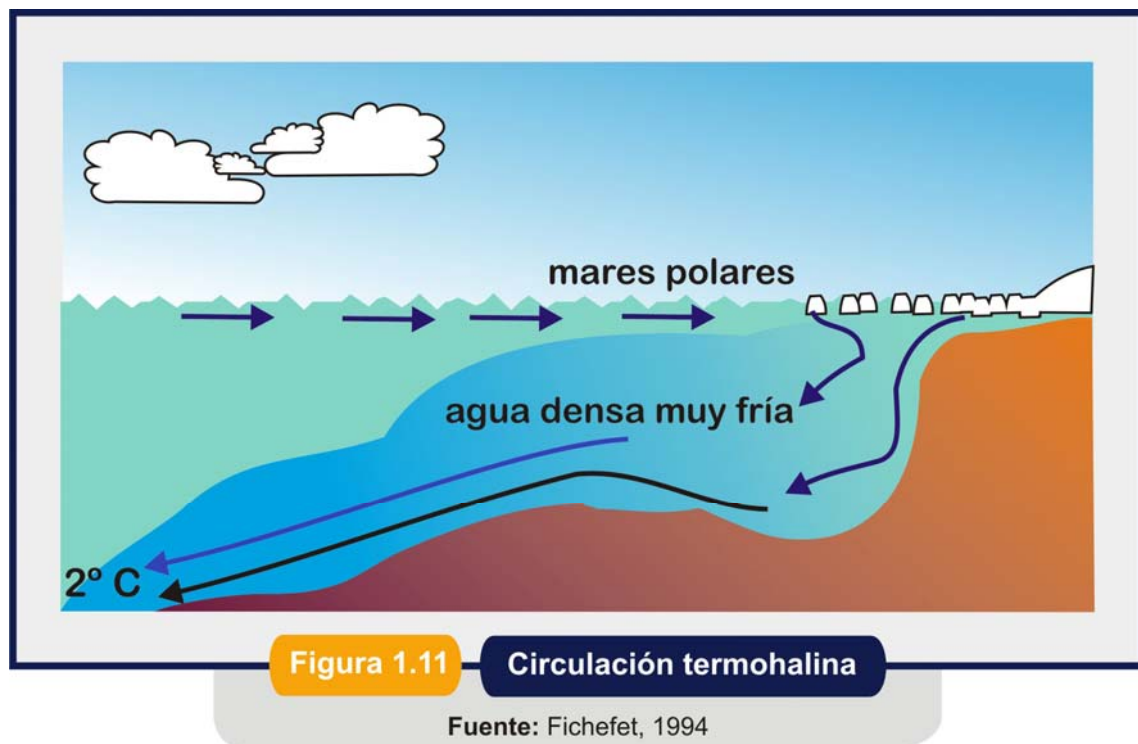
Las masas de agua que se hunden en el Atlántico y en la banda oceánica meridional lo hacen por el efecto de los vientos que, al provocar la evaporación del agua reducen su temperatura a la vez que provocan la concentración de las sales. La formación de hielo cuando crece la banquisa (grandes bloques de hielo) separa el agua pura, dejando una salmuera que rellena las grietas o se mezcla con el agua oceánica, amplificando el efecto. Las masas enfriadas, más densas, se trasladan por gravedad a través de los fondos polares (Dokken y Jansen, 1999).

En el Océano Atlántico Norte la densificación, debido a la evaporación, da origen a una masa de agua fría y densa que circula a lo largo del Atlántico en un camino de retorno al Pacífico (Black, 1999).

Un incremento en el flujo de agua dulce en la superficie del Océano Atlántico Norte, puede llevar a un significativo debilitamiento o un completo colapso en la circulación termohalina. Éste sería el resultado neto del intercambio de agua dulce y salada (Figura 1.11) (Fichefet, 1994) causado por el deshielo de los polos y el permafrost en Groenlandia. Esto alteraría todo proceso de corrientes marinas que afectaría al clima global, como la corriente del Atlántico Norte que regula directamente el clima de Europa (Fichefet, 1994).

Si este proceso de colapso de corrientes marinas ocurre a nivel global, tendríamos un aumento considerable en el nivel del mar y un incremento en la temperatura de los

océanos y por ende, una elevada temperatura atmosférica; que a su vez, aumentaría la humedad atmosférica con un mayor número de meteoros.



1.1.6. Gases efecto invernadero (GEI).

La atmósfera de la tierra está compuesta principalmente de oxígeno y nitrógeno, ninguno de estos dos elementos juega un papel significativo en la realización del efecto invernadero, ya que ambos son esencialmente transparentes a la radiación terrestre. El efecto invernadero es sobre todo, una función de la concentración del vapor de agua, bióxido de carbono y otros gases atmosféricos que absorben la radiación terrestre que sale de la superficie de la Tierra (IPCC, 1996).

Los cambios en las concentraciones atmosféricas de estos gases de efecto invernadero pueden alterar el equilibrio de las transferencias de energía entre la atmósfera, el espacio, la tierra y los océanos (IPCC, 1996). Los aumentos en concentraciones de gas invernadero en la atmósfera producirá un forzamiento radiativo positivo (es decir, un

aumento neto en la absorción de la energía que realiza la Tierra). Un cambio en el clima puede conducir a cambios en las concentraciones atmosféricas de un número de gases y de aerosoles radiativamente activos. Existen evidencias claras que las actividades humanas han afectado concentraciones, distribuciones y ciclos vitales de estos gases (IPCC, 1996).

El bióxido de carbono, el metano y el óxido nitroso se emiten, y son anulados continuamente de la atmósfera por procesos naturales en la Tierra. Las actividades antropogénicas, sin embargo, pueden causar cantidades adicionales de éstos y de otros gases invernadero que se emitirán o secuestraran, de tal modo que cambiarán sus concentraciones atmosféricas medias globales. Las actividades naturales como respiración de plantas o animales y los ciclos estacionales del crecimiento vegetal, y del decaimiento son ejemplos de los procesos que completan un ciclo solamente, el carbón o el nitrógeno entre la atmósfera y la biomasa orgánica. Los cambios climáticos que resultan de las actividades antropogénicas, pueden tener efectos positivos o negativos en la regeneración de los sistemas naturales (IPCC, 2001).

El **Bióxido de carbono (CO₂)** en los aumentos en las concentraciones atmosféricas de gases de efecto invernadero (GEI) alteran el balance de radiación de la Tierra y por lo tanto, el clima. Las concentraciones de CO₂ en la atmósfera comenzaron a mediados del siglo XX y se extendieron en los últimos años a otros gases bien mezclados y muy persistentes, como el metano.

En la atmósfera, el carbón existe predominante en su forma oxidada como CO₂. El bióxido de carbono atmosférico es parte de este ciclo de carbón global, y por lo tanto, su

destino es una función compleja de procesos geoquímicos y biológicos. Las concentraciones del bióxido de carbono en la atmósfera aumentan aproximadamente 280 partes por millón de volumen (ppmv) en épocas pre-industriales 367 al ppmv en 1999, lo cual implica un aumento de 31% (IPCC, 2001).

El IPCC observa que "esta concentración no se ha excedido durante los últimos 420,000 años. El coeficiente de incremento en el excedente del último siglo es sin precedente, por lo menos durante los últimos 20,000 años". El IPCC indica que definitivamente "el actual aumento atmosférico del CO₂ es causado por las emisiones antropogénicas de CO₂" (IPCC, 2001). La biomasa que se quema en el bosque y algunos procesos de producción no energéticas por ejemplo, la producción de cemento, también emiten cantidades notables de bióxido de carbono.

El IPCC indicó que "la cantidad creciente de bióxido de carbono (en la atmósfera) está conduciendo al cambio del clima y producirá, en promedio, el calentamiento global de la superficie de la Tierra debido a su realzado efecto invernadero, aunque la magnitud y el significado de los efectos no se resuelven completamente" (IPCC, 1996).

El **Vapor de Agua (H₂O)** es el gas más abundante y más dominante de efecto invernadero en la atmósfera. El vapor de agua no se mezcla, y es duradero en ésta variación espacial, y es a partir de 0 a 2% (IPCC, 1996). Además, el agua atmosférica puede existir en varios estados físicos incluyendo gaseoso, líquido, y el sólido. Las actividades humanas se cree, no han afectado directamente la concentración global media del vapor de agua; sin embargo, el forzamiento radiativo producido por las

concentraciones crecientes de otros gases de efecto invernadero puede afectar indirectamente el ciclo hidrológico (IPCC, 1996).

El **Metano (CH₄)** se produce sobre todo con la descomposición anaerobia de la materia orgánica en sistemas biológicos. Los procesos agrícolas tales como cultivos de arroz, fermentación entérica de animales y la digestión en animales emiten CH₄, al igual que la descomposición de basuras sólidas municipales. El metano también se emite durante la producción y la distribución del gas natural y del petróleo, y se lanza como subproducto de la explotación hullera y de la combustión incompleta del combustible fósil. Las concentraciones atmosféricas del metano han aumentado en cerca de 150% desde épocas pre-industriales, aunque el coeficiente de incremento ha estado declinando. El IPCC ha estimado que levemente más de la mitad del flujo actual CH₄ a la atmósfera es antropogénico, de actividades humanas tales como agricultura, el uso y la disposición inútil (IPCC, 2001) del combustible fósil.

Las fuentes antropogénicas de emisiones de **Óxido Nitroso (N₂O)** incluyen suelos agrícolas, el uso de fertilizantes y abonos sintéticos; combustión de combustible fósil, especialmente de la combustión móvil; producción de ácido adípico (nilón) y nítrico; tratamiento de aguas residuales y combustión de la basura; y la quema de biomasa. La concentración atmosférica del óxido nitroso (N₂O) ha aumentado en 16 por ciento desde 1750, de un valor pre industrial de (partes por billón) ppb cerca de 270 a 314 ppb en 1998, una concentración que no se ha excedido durante los mil años pasados. El óxido nitroso es quitado sobre todo de la atmósfera por la acción fotolítica de la luz del Sol en la estratosfera (IPCC, 2001).

El **Ozono (O₃)** está presente en dos capas, la estratosfera superior, en donde protege a la Tierra de niveles dañinos de radiación ultravioleta, y en concentraciones más bajas en la troposfera, donde está el componente principal de la "niebla con humo fotoquímico antropogénico." Durante las dos décadas pasadas, las emisiones de la clorina antropogénica y los halocarbonos con bromo, tales como clorofluorocarbonos (CFCs), han agotado concentraciones estratosféricas del ozono. Esta pérdida de ozono en la estratosfera ha dado lugar al forzamiento radiativo negativo, representando un efecto indirecto de emisiones antropogénicas de los compuestos de la clorina y del bromo (IPCC, 1996).

El último aumento en el ozono troposférico, que es también un gas efecto invernadero, se estima para proporcionar el tercer aumento más grande de forzamiento radiativo directo desde la era pre-industrial, detrás del CO₂ y de CH₄. El ozono troposférico se produce de reacciones químicas complejas de los compuestos orgánicos volátiles que se mezclan con los óxidos del nitrógeno (NO_x) en la presencia de la luz del Sol (IPCC, 2001).

1.1.7. Actividad volcánica.

El vulcanismo da lugar a la contaminación natural del planeta y por lo tanto, tiene un efecto directo sobre la atmósfera y contribuye globalmente al efecto invernadero a nivel planetario (Figura 1.12). Lo que genera consecuencias regionales severas a corto, mediano y largo plazo (Lowe, et al., 1994).



Figura 1.12

Volcán en erupción

Fuente: Interet-general.info 2006.

Los volcanes explosivos se caracterizan por sufrir periódicamente erupciones súbitas y violentas, con suficiente energía como para impulsar polvo y compuestos químicos directamente hasta la estratósfera, es decir, hacerlos llegar a una altura de entre veinte y cuarenta kilómetros por sobre el nivel del mar. Ello significa que puede resultar afectado el clima global (Lowe, et al., 1994).

Las partículas que llegan a la estratosfera descienden rápidamente, de modo que, a los cinco o seis meses de una erupción violenta, menos del 10% de la cantidad inicial estimada de ellas pueden aún permanecer en el aire. En cambio, el dióxido de azufre (SO_2) reacciona con el vapor de agua y produce ácido sulfúrico (SO_4H_2), que queda, en forma de pequeñas gotas llamadas aerosoles, en suspensión en la estratosfera por un máximo de dos años. Tal lapso es suficientemente largo como para que esos aerosoles se dispersen por toda la atmósfera y ocasionen una merma en el flujo de radiación solar, a la superficie del planeta, con lo que éste se puede enfriar algunas décimas de grado. En consecuencia, el efecto de las erupciones volcánicas en el largo plazo depende,

principalmente de la cantidad de bióxido de azufre que fue incorporado a la estratósfera (Figura 1.13) (Sear, et al., 1987).



El aumento de aerosoles en la estratosfera, ocasionado por sucesivas erupciones volcánicas, puede generar efectos sobre el clima que se extiendan por décadas y aun por siglos (Sear, et al., 1987). La presencia de aerosoles de origen volcánico en la estratosfera afecta a la temperatura de la superficie terrestre y el régimen de lluvias (Figura 1.14) (Sear, et al., 1987).

Cuando la estratosfera está limpia, la cantidad de energía solar que llega a la superficie de la Tierra aumenta la evaporación del agua y conduce a que haya mayores lluvias, lo que inicialmente se manifiesta en los océanos subtropicales. El caso opuesto tiene lugar luego de largos períodos de actividad volcánica. Esto ocurre, cuando el aumento de aerosoles en la estratosfera reduce la cantidad de radiación solar que llega a la superficie del planeta, al mismo tiempo que decae la temperatura y aumentan las precipitaciones (Sear, et al., 1987).

1.2. Causas antrópicas.

1.2.1. Cambio de uso de suelo.

Los cambios en el uso de la tierra, cuya principal característica es la deforestación, parecen haber producido un forzamiento radiativo negativo de $-0.2 \pm 0.2 \text{ Wm}^{-2}$ (IPCC, 2007). Se estima que el mayor efecto se encuentra en las altas latitudes. Esto se debe a que la deforestación ha hecho que los bosques cubiertos de nieve, con un albedo relativamente bajo, sean sustituidos por superficies abiertas y cubiertas de nieve con un albedo superior (IPCC, 2001).

El cambio de uso del suelo se genera en primer lugar por la quema y pérdida de vegetación que ocasiona emisiones de CO_2 y luego por los óxidos nitrosos contenidos en los fertilizantes. Estos últimos, además, provocan otros problemas ambientales derivados de su uso. Una vez que el suelo se ha degradado ya no puede ser empleado para la agricultura, se le suele emplear para la ganadería, lo que a su vez, aumenta las emisiones de metano. Este tipo de manejo de suelo provoca un cambio drástico en un tiempo muy corto e impacto gradual en el clima, ya que la alteración de la biodiversidad se ve reflejada en el clima (IPCC, 2001).

Las acciones del hombre tienen un impacto a largo plazo, y las plantas madereras han contribuido a la pérdida de vegetación que en gran medida ha aumentado la emisión de gases efecto invernadero. La pérdida de la diversidad de especies asociada con la tala de bosques, produce una transición a largo plazo de un bosque a pastizales, y que ésta transformación se produce por incendios y/o pastoreo. Dichos pastizales tienen una diversidad relativamente baja y un contenido de carbono mucho más reducido que el del bosque original. La deforestación y las actividades del hombre han contribuido a producir

alrededor de una quinta parte de las emisiones de gases de efecto invernadero (1.7 ± 0.8 Gt C año) durante la década de 1990, que provenían en su mayoría de la deforestación de las regiones tropicales. Un total de 136 ± 55 Gt C han sido emitidos a la atmósfera debido a las acciones de deforestación desde el año 1850 (IPCC, 2001).

Los cambios en las características de la superficie terrestre (por ejemplo, las creadas por el cambio en la cubierta de los suelos) pueden modificar los flujos de energía, agua y gas, al mismo tiempo que afectan la composición atmosférica, cambiando el clima local, regional y mundial. La evapotranspiración y el albedo afectan al ciclo hidrológico local. La disminución de la cubierta vegetal puede producir una reducción de la precipitación a escalas regional y local, y por lo tanto cambiar la frecuencia y persistencia de las sequías. Por ejemplo, en la cuenca amazónica, al menos un 50% de la precipitación se origina por la evapotranspiración proveniente de la misma cuenca (IPCC, 2001).

La deforestación reduce la evapotranspiración, lo que a su vez puede reducir la precipitación cerca del 20%, produciendo un periodo seco estacional y un aumento de 2°C en la temperatura de la superficie local. Esto a su vez, puede tener como resultado una disminución en el área de bosque tropical húmedo y sustitución permanente por plantas de hoja caduca (que son más pobres en lo que a flores se refiere pero que toleran mejor las sequías) o por selvas tropicales secas o bosques. (IPCC, 2001).

1.2.2. Deforestación.

Se entiende por deforestación a la destrucción a gran escala del bosque por la acción humana, que avanza a un ritmo de 17 millones de ha. al año (superficie que supera a la de Inglaterra, Gales e Irlanda del Norte juntas). Entre 1980 y 1990 las tasas anuales de

deforestación fueron de 1.2% en Asia y el Pacífico, 0.8% en Latinoamérica y 0.7% en África. La superficie forestal está, en su mayoría, estabilizada en Europa y América del Norte (Achard, et al., 1998).

La deforestación produce erosión del suelo y desestabilización de las capas freáticas, lo que a su vez favorece las inundaciones o sequías. La deforestación reduce la biodiversidad (diversidad de hábitats, especies y tipos genéticos), lo que resulta significativo en los bosques tropicales que albergan gran parte de la biodiversidad del mundo (Anon, 1985). La cultura y el conocimiento de muchos pueblos han evolucionado a lo largo de los años, estos han ido ligados a los cuidados del bosque y van desapareciendo junto con éste, al ser cada vez más restringido el acceso y mermados sus derechos tradicionales por los gobiernos. La deforestación afecta el medio de vida de 200 a 500 millones de personas que dependen de los bosques para obtener comida, abrigo y combustible (Anon, 1996). La deforestación y degradación pueden contribuir a los desequilibrios climáticos regionales y globales. Los bosques desempeñan un papel clave en el almacenamiento del carbono; si se eliminan, el exceso de dióxido de carbono en la atmósfera puede llevar a un calentamiento global de la Tierra, con multitud de efectos secundarios problemáticos (Brown y Schreckenberg, 1998).

La diferencia del cambio de uso de suelo con la deforestación es que el cambio de uso de suelo da un uso distinto al suelo, por ejemplo de bosque a agricultura. En la deforestación solo se talan los bosques y se abandonan, dejando que se degrade o se recupere el bosque por sí solo.

Si hoy la deforestación se considera un problema, antiguamente se pensaba que contribuía al desarrollo nacional. El capital forestal fue liquidado y reemplazado por otras formas de capital para generar alimentos, materias primas, energía o infraestructuras (Bryant, et al., 1997).

En las regiones templadas la agricultura se ha basado en la eliminación de los bosques aprovechando la fertilidad de sus suelos. La mayor parte de las áreas boscosas de Inglaterra han quedado deforestadas desde 1350. En Europa continental y América del Norte, la deforestación se aceleró durante los siglos XVIII y XIX, con el fin de despejar tierras y dedicarlas a cultivos alimentarios para abastecer a las ciudades industriales y hacer frente a las necesidades de combustible y de materiales de construcción (WRI, 1994).

Los procesos de deforestación son, por lo general, más destructivos en los trópicos. La mayor parte de los suelos forestales tropicales son mucho menos fértiles que los de las regiones templadas y resultan fácilmente erosionables al proceso de lixiviación. Proceso causado por la elevada pluviosidad que impide la acumulación de nutrientes en el suelo (Meyers, 1992).

El crecimiento de poblaciones humanas ha llevado también a la destrucción de zonas forestales por la vía más difícil, a mano. La deforestación tropical aumentó rápidamente a partir de 1950, con la ayuda de maquinaria pesada. Las tasas anuales de deforestación en 52 países tropicales prácticamente se duplicaron entre 1981 y 1990 (FAO, 1997).

La agricultura de roza tumba y quema, practicada por los pequeños agricultores de las regiones tropicales, fue la responsable del 45% de la deforestación en África y Asia en 1980. Tras pocos años de cultivo, muchos suelos sólo pueden sustentar praderas y matorral, por lo que los agricultores tienen que trasladarse a otros bosques que acondicionan para el cultivo. En este caso, mediante la tala de la cubierta vegetal y el fuego (FAO, 1998).

Las explotaciones madereras constituyen una causa importante de deforestación en el sureste de Asia y África central, hasta 1990, África occidental. La tala daña más árboles de los que derriba (World Comisión, 1998). Los productores madereros del noroeste de América del Norte y Siberia, a menudo, reponen la cubierta arbórea por medio de plantaciones, o dejan que el área se regenere naturalmente, aunque mientras se restablece la comunidad vegetal, se produce la erosión y degradación del suelo (Ciesla, 1995).

La deforestación para fines agrícolas en suelos no fértiles sólo produce beneficios a corto plazo. No obstante, cuando está bien planificada, puede producir beneficios sustentables, como algunas plantaciones de caucho y palma de aceite, que conservan cierta estructura forestal favorable para el suelo y la mejora de la conservación del agua (Sunderlin y Rodríguez, 1996).

La deforestación en plantaciones de árboles ha sido significativa en el Sureste asiático y Sudamérica. Los silvicultores de todo el mundo han talado bosques naturales para dar espacio a plantaciones más rentables en la producción maderera, pero hoy son más conscientes del costo social y ambiental que esta actitud representa (Simons, 1998).

Las plantaciones que a menudo contienen tan sólo una especie de árbol, todos ellos de la misma edad, no reproducen el ecosistema del bosque original, que suele caracterizarse por la variedad de su flora y fauna en todas las fases de desarrollo. Por ejemplo, en los bosques templados y de coníferas del norte de la Columbia Británica, donde se talan cerca de 2,200 Km² de bosque al año (aproximadamente 1% del total del bosque comercialmente viable de la provincia), se ha exigido a las empresas madereras, desde 1987, que replanten toda la tierra deforestada en el plazo de cinco años. También se están haciendo esfuerzos por mantener la diversidad original de especies arbóreas, aunque los ecosistemas animales y vegetales secundarios se han visto inevitablemente afectados (Hansen, 1997).

La deforestación para producir pastizales fue una importante causa de deforestación en los bosques brasileños y centroamericanos en las décadas de 1970 y 1980, impulsada por programas gubernamentales para crear grandes ranchos. La quema regular de bosques para mantener los pastos es común en el África seca (Schaitza, 1998).

La deforestación para obtener leña constituye un problema en las áreas más secas de África, el Himalaya y los Andes. La deforestación para asentamientos, explotaciones mineras y petrolíferas es localmente significativa, en especial con los programas de reasentamiento puestos en práctica, hasta hace poco en Indonesia y Brasil. Dichos programas gubernamentales reasientan a los habitantes de zonas superpobladas en superficies antes ocupadas por bosques (Schaitza, 1998).

La construcción de carreteras y presas ha tenido, como resultado directo, la deforestación y esto incentiva la explotación maderera, que abre al bosque a la

explotación agrícola y a la recolección de leña. Alrededor de la mitad de los bosques tropicales talados acaban siendo dedicados a la agricultura.

1.2.3. Uso de combustibles fósiles.

El actual modelo de consumo energético, basado en la quema de combustibles fósiles, es insostenible por una razón básica (los yacimientos de esos combustibles se están agotando) y de fondo: ocasiona graves trastornos ambientales. Uno de los cuales comienza a tener severas repercusiones en todo el planeta.

La intensa generación de dióxido de carbono (CO₂) por la quema de combustibles fósiles y la progresiva acumulación de este compuesto en la atmósfera está perturbando los patrones climáticos (IPCC, 1996).

Este compuesto, acentúa el "efecto invernadero" y, en consecuencia, el cambio en el clima global. En los polos se ha constatado el derretimiento de los glaciares. El modelo económico y productivo dominante identifica bienestar con expansión y ésta con consumo de energía creciente (desde principios de siglo se ha multiplicado por 30). El 75% de la energía que se utiliza proviene de combustibles fósiles: petróleo (32%), carbón (26%) y gas natural (17%), que producen 6 gigatoneladas (Gt) anuales de CO₂ (IPCC, 1996).

El consumo de los combustibles fósiles (carbón, gas y, en especial, petróleo) hace un aporte considerable al calentamiento global, que está adquiriendo niveles intolerables. En la actualidad, el 90% de la energía mundial se obtiene a partir de procesos de

combustión de productos fósiles, cuyo consumo superó, en 1994, los 9 mil millones de toneladas equivalentes de petróleo (Martínez, 1997).

El 30% del total de energía consumida en el mundo se emplea para transporte. Se estima que origina el 25% de las emisiones de carbono a la atmósfera, además del 47% de los óxidos de nitrógeno y cantidades semejantes de hidrocarburos. El transporte de mercancías por carretera, en camiones de 40 toneladas produce 5 veces más CO₂ que por ferrocarril, y sin embargo se prevé un crecimiento del 40 al 70% en los próximos 20 años del transporte por carretera (Goldsmith y Henderson, 1997).

En todo el planeta, se emiten anualmente a la atmósfera cerca de 24 mil millones de toneladas de CO₂ y 255 millones de toneladas de metano, causadas en su gran mayoría por el uso de combustibles fósiles y por otras actividades de la humanidad. Los países industrializados presentan consumos de energía tres veces mayores que aquel que se presenta en países en vías en desarrollo. Sólo los Estados Unidos producen el 25% de los gases invernadero del mundo y todos los países desarrollados ocupan un cuarto de la población mundial, que consumen aproximadamente el 70% del total de energéticos fósiles (Goldsmith y Henderson, 1997).

Contradictoriamente, en Latinoamérica se siguen autorizando cada vez más nuevas exploraciones en áreas petroleras y de gas natural, sin que se respeten los acuerdos firmados para proteger el clima global. Aún más, las regiones concedidas para la explotación de hidrocarburos son, en muchas ocasiones, boscosas. Gran parte de la actividad petrolera se desarrolla hoy en la Amazonía (Martínez, 1997).

De seguir con el uso de éste tipo de energía el aumento de la temperatura será mayor y más rápido de lo experimentado en los últimos 10,000 años. Se dice que “para el año 2100 se proyecta un incremento de 3°C, que sería el aumento de temperatura más rápido en toda la historia humana” (Martínez, 1997).

1.2.4. Residuos por consumo, industria y transporte.

El consumo de las sociedades genera cada vez mayor número de toneladas de residuos cuyo manejo resulta difícil (IPCC, 2004). La producción de carne, el empleo de fertilizantes, las fugas de metano en la minería de carbón, los incendios forestales y la fabricación de nailon con ácido nítrico, contribuyen a la producción de gases efecto invernadero y residuos de todo tipo (IPCC, 2007)

Por ejemplo, una familia que habita en una ciudad de un país desarrollado genera una media de casi 500 kg. de residuos al año, de los que más de la mitad son embalajes (el resto son todas las sobras de la comida). En los últimos 30 años se ha impuesto el embalaje de plástico, fácil de adaptar al producto, de bajo coste y ligero (Santamaría, 2001). A diferencia del acero, vidrio, aluminio y cartón, el plástico se recicla con mucha dificultad. Se emiten a la atmósfera contaminantes peligrosos, que afectan a las cosechas y a los animales destinados al consumo humano. El plástico es muy poco biodegradable, ya que tiene que transcurrir un siglo para que una bolsa se degrade completamente y 1000 años para que lo haga una botella (IPCC, 2004).

En 1999 el consumo mundial de energía para cubrir las necesidades de producción de productos derivados del petróleo, llegó a 10,000 millones de toneladas equivalentes de petróleo (Mtep) (2,146 Mtep de carbón, 2,302 Mtep de gas natural (20.1%), 607 Mtep de

nuclear, 220 Mtep de hidroeléctrica y cerca de 1,500 Mtep de biomasa (14%), leña, geotermia, solar y eólica (menos del 2%)) (IPCC, 2007). La producción, transformación y consumo final de tal cantidad de energía es la causa principal de la degradación ambiental. El consumo está desigualmente repartido, pues los países del Norte, con el 25% de la población mundial, consumen el 66% de la energía, factor que se debe tomar en cuenta a la hora de repartir responsabilidades de la crisis ambiental causada por la energía (Santamaría, 2001).

El sector industrial ha sido acusado durante mucho tiempo de ser el principal responsable de la contaminación atmosférica. La industria emite, sobre todo, óxido de azufre (SO₂) (IPCC, 2007). En los inicios de la era industrial, los residuos industriales se almacenaban sin ninguna precaución; escoriales de carbón, terraplenes de minas, alquitranes o residuos químicos se amontonaban cerca de los lugares de producción. El cese de las actividades o el agotamiento de los recursos provocaban el abandono de millones de toneladas de residuos que, a menudo, eran tóxicos. La contaminación de agua, aire y suelo obligó a los estados a imponer una reglamentación cada vez más estricta (IPCC, 2004).

Las materias radiactivas utilizadas en centrales nucleares, industria y medicina, contaminan el agua y el suelo, con consecuencias catastróficas para la salud. Los desechos radiactivos de larga vida, que son los más peligrosos, plantean un auténtico problema. Tras 15 años de explotación de 58 reactores nucleares, Francia ha producido 2,000 m³ de desechos (el equivalente a una piscina olímpica) (Santamaría, 2007).

El transporte produce, actualmente, más de la tercera parte de las emisiones de gases contaminantes, una proporción que va en aumento. Las familias occidentales han alcanzado la cuota norteamericana de dos automóviles por familia. El 1 de enero de 1999, se estimaba que en la Unión Europea había alrededor de 200 millones de vehículos, de los que 167 millones eran automóviles y 23 millones, utilitarios (IPCC, 2007). Todos estos motores utilizaron más de 310 millones de toneladas de petróleo. En Francia, de los 500 mil millones de Km. recorridos en un año por los automóviles particulares, cerca de 130 mil millones se realizaron en aglomeraciones urbanas (IPCC, 2004).

El transporte terrestre de mercancías se realiza por medio de camiones. En 2001, la Comisión Europea se sorprendió ante el hecho de que el transporte por carretera había aumentado 20% entre 1990 y 1998. En Europa el transporte por ferrocarril tan sólo representa 10% del tráfico de mercancías, respecto al 40% en Estados Unidos. (IPCC, 2004).

1.2.5. Agricultura.

Con el rápido aumento de la mecanización en el siglo XX, especialmente con la aparición del tractor, las exigentes tareas de sembrar, cosechar y trillar pueden realizarse de forma rápida y a una escala antes inimaginable. Según la *Academia Internacional de Ingeniería* de EE.UU, la mecanización agraria es uno de los 20 mayores logros de la ingeniería del siglo XX. A principios del siglo XX, en EE.UU. se necesitaba un granjero para alimentar de 2 a 5 personas, mientras que hoy, gracias a la tecnología, los agroquímicos y las variedades de granos actuales, un granjero puede alimentar a 130 personas. El costo de

esta productividad es un gran consumo energético, generalmente de combustibles fósiles (FAO, 1993).

La agricultura posee un peso mayor en la contaminación del aire. En los países desarrollados, este sector representa entre 20 y 25% de las emisiones. El aumento en el consumo de carne, debido al incremento del nivel de vida, ha dado gran importancia al desarrollo de la cría de rumiantes (bovinos, corderos, etc.). La ganadería mundial alcanzó 3.1 mil millones de cabezas en 2001. La crianza de estos animales va acompañada de una importante producción de metano. En Asia, la extensión del cultivo de arroz tuvo los mismos efectos (los arrozales requieren grandes superficies de agua estancada, que favorece la proliferación de bacterias productoras de metano). El uso de abonos y pesticidas hace que se extiendan por aire grandes cantidades de moléculas químicas que se desplazan a una gran distancia del lugar donde se han utilizado (FAO, 1997).

Los suelos realmente cultivables corresponden sólo al 22% de la superficie de las tierras emergidas. Esto supone 3,031 millones de hectáreas, de las que 877 millones se hallan en los países desarrollados y 2,154 millones en los países en vías de desarrollo. Podría pensarse que existe una reserva disponible importante, pero en realidad las tierras agrícolas de los países desarrollados se encuentran explotadas de manera intensiva y las de los países en vías de desarrollo se hallan sometidas a importantes limitaciones climáticas que condicionan su utilización (FAO, 2000).

Según el IPCC en el 2007 el rendimiento de los cultivos con respecto al cambio climático varía mucho en función de las especies cultivables, las condiciones del suelo, el

tratamiento de los efectos directos del CO₂, y otros factores propios del lugar. Se ha proyectado que se producirá de 2°C a 3°C a causa del calentamiento global, lo que aumentará el rendimiento de cultivos en zonas templadas. En los trópicos, donde algunos cultivos están cerca de su tolerancia máxima a la temperatura y donde predomina la agricultura de secano, los rendimientos en general podrían reducirse, aun con cambios mínimos en la temperatura. Si se produjera una gran disminución de las precipitaciones, los efectos sobre el rendimiento de los cultivos serían aún más adversos (FAO, 1998).

Se ha determinado que con la adaptación agronómica autónoma, los rendimientos de los cultivos en los trópicos tienden a verse menos adversamente afectados por el cambio climático que sin esa adaptación, pero todavía tienden a mantenerse por debajo de los niveles de referencia. Las temperaturas mínimas más altas beneficiarán a algunos cultivos, especialmente en los climas templados, y perjudicarán a otros, especialmente en latitudes bajas. Las temperaturas máximas más altas serán en general perjudiciales para numerosos cultivos (IPCC, 2007).

Se estima que los impactos del cambio climático en la agricultura darán lugar a pequeños cambios porcentuales en los ingresos mundiales, con cambios positivos en las regiones más desarrolladas y cambios más pequeños o negativos en las regiones en desarrollo. Los aumentos de la temperatura anual media de 2.5°C o mayores, provocarán un aumento en el precio de los alimentos como resultado de la expansión de la capacidad alimentaria mundial en relación con el crecimiento de la demanda mundial de alimentos. El cambio climático reducirá los ingresos de las poblaciones vulnerables y aumentará el número absoluto de personas en riesgo de hambruna (IPCC, 2007).

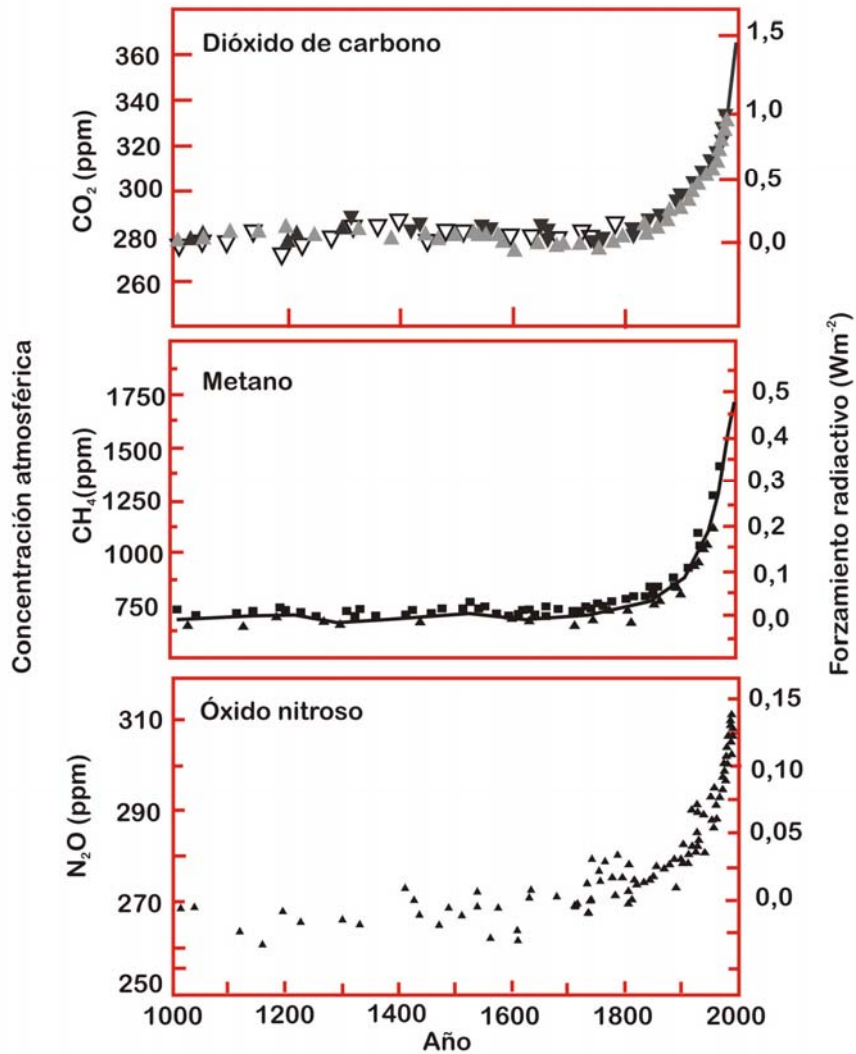
1.2.6. Cambios en la concentración de gases efecto invernadero (GEI).

La composición atmosférica se ha modificado por causas antropogénicas; de la siguiente manera:

a) Concentraciones atmosféricas de carbono (CO_2), metano (CH_4) y óxido nítrico (N_2O) en los últimos 1,000 años. Los datos de muestras de hielo y neviza en varios emplazamientos en la Antártida y Groenlandia (indicados con símbolos diferentes), se complementan con los datos de muestras atmosféricas directas en los últimos decenios (indicados mediante la línea del CO_2 e incorporados a la curva que representa el promedio mundial de CH_4) (Figura 1.15).

b) Concentración de sulfatos (SO_2) en varias muestras de hielo de Groenlandia, después de eliminar los efectos episódicos de las erupciones volcánicas (líneas) y emisiones totales de SO_2 procedentes de fuentes en Estados Unidos y Europa (cruces) (IPCC, 2001) (Figura 1.14).

a) Concentraciones atmosféricas mundiales de tres gases de efecto invernadero (GEI) bien mezclados



b) Aerosoles de sulfatos depositados en el hielo de Groenlandia

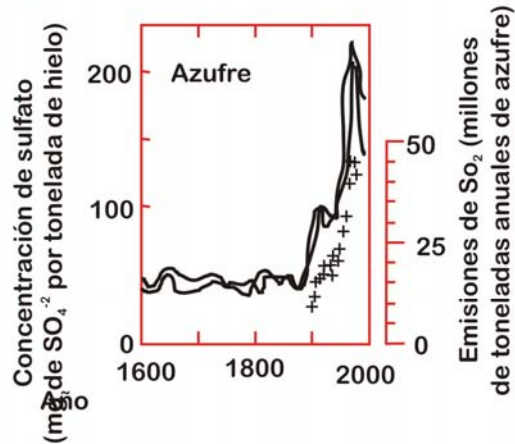


Figura 14.

Registros de cambios en la composición de la atmósfera

Fuente: IPCC, 2000. GTI, Base Científica

Las emisiones de GEI y de aerosoles debidas a las actividades humanas siguen modificando la atmósfera de diversas formas que se prevé afectarán al clima. Los cambios en el clima se producen como consecuencia de la variabilidad interna dentro del sistema climático y de factores externos (tanto naturales como antropógenos). La influencia de diversos factores externos en el clima permite ampliar las comparaciones mediante el concepto de forzamiento radiativo¹. Un forzamiento radiativo positivo, como el que se produce por las crecientes concentraciones de gases de efecto invernadero, tiende a calentar la superficie terrestre.

Un forzamiento radiativo negativo, que puede deberse a un aumento de ciertos tipos de aerosoles (partículas microscópicas suspendidas en el aire), tiende a enfriar la superficie de la Tierra. Los factores naturales, como los cambios en las emisiones solares o la actividad volcánica explosiva, también pueden producir un forzamiento radiativo. Es necesario caracterizar estos agentes de forzamiento climático y sus cambios con el tiempo (Figura 1), con el fin de comprender los cambios climáticos pasados en el contexto de las variaciones naturales y para proyectar los cambios climáticos que podría depararnos el futuro.

Las concentraciones de gases atmosféricos de efecto invernadero y su forzamiento radiativo siguen aumentando como consecuencia de las actividades humanas, a continuación se enlistan (IPCC, 2007):

¹ El forzamiento radiativo es una medida de la influencia que un factor ejerce en la modificación del equilibrio entre la energía entrante y saliente en el sistema Tierra-atmósfera, y es un índice de la importancia del factor como mecanismo potencial de cambio climático. Se expresa en vatios por metro cuadrado (Wm⁻²).

- La concentración atmosférica de dióxido de carbono (CO₂) ha aumentado en un 31 % desde 1750. La concentración actual de CO₂ no se había superado en los últimos 420,000 años y es probable que tampoco en los últimos 20 millones de años. El ritmo actual de crecimiento no tiene precedentes, al menos en los últimos 20,000 años.
- Unas tres cuartas partes de las emisiones antropógenas de CO₂ en la atmósfera durante los últimos 20 años se deben a la quema de combustibles de origen fósil. El resto se debe principalmente a cambios en el uso de la tierra, especialmente la deforestación.
- Los océanos y la tierra actualmente captan juntos, la mitad de las emisiones antropógenas de CO₂. En la tierra, la absorción de CO₂ antropógeno muy probablemente superó las emisiones de CO₂ a causa de la deforestación en los años noventa.
- El ritmo de aumento de la concentración del CO₂ atmosférico fue de 1.5 ppm² (0.4 %) por año en los dos últimos decenios. En los años noventa, el aumento anual varió de 0.9 ppm (0.2 %) a 2.8 ppm (0.8 %). Una gran parte de estas variaciones se debe al efecto de la variabilidad climática (por ejemplo, los fenómenos de El Niño y La Niña) en la absorción y emisión de CO₂ por parte de tierras y océanos.
- La concentración del metano (CH₄) en la atmósfera ha aumentado en 1.060 ppm (151 %) desde 1750 y sigue aumentando. La concentración de CH₄ no se había superado en

² ppm (partes por millón) o ppmm (partes por mil millones) es la proporción entre el número de moléculas de GEI y el número total de moléculas de aire seco. Por ejemplo, 300 ppm significa 300 moléculas de GEI por millón de moléculas de aire seco.

los últimos 420,000 años. El crecimiento anual de la concentración de CH₄ fue más lento y se hizo más variable en los años noventa en comparación con los ochenta. Un poco más de la mitad de las emisiones de CH₄ actuales son antropogénicas (por ejemplo, utilización de combustibles de origen fósil, ganadería, cultivo del arroz y vertederos de basura). Además, recientemente se ha establecido que las emisiones de monóxido de carbono (CO) son una de las causas del aumento de la concentración del CH₄.

- La concentración de óxido nitroso (N₂O) en la atmósfera ha aumentado en 46 ppm (17 %) desde 1750 y sigue aumentando. La concentración actual de N₂O se ha superado al menos durante los últimos mil años. Aproximadamente un tercio de las emisiones de N₂O actual son antropogénicas (por ejemplo, tierras agrícolas, corrales de engorde de ganado e industrias químicas).

- Desde 1995 las concentraciones atmosféricas de muchos de estos gases como los halocarbonos, agotan la capa de ozono y tienen un efecto invernadero (por ejemplo, los clorofluorocarbonos [CFCl₃ y CF₂Cl₂]) están aumentando lentamente y algunos otros disminuyendo, en ambos casos es consecuencia de la reglamentación del Protocolo de Montreal y sus enmiendas. Sus componentes substitutivos (por ejemplo, CHF₂Cl y CF₃CH₂F) y otros componentes sintéticos (por ejemplo, los perfluorocarbonos (PFC) y el hexafluoruro de azufre (SF₆)) son también gases de efecto invernadero y sus concentraciones están aumentando actualmente.

- Se calcula que el forzamiento radiativo debido al aumento de los GEI bien mezclados desde 1750 hasta el año 2000 es de 2.43 Wm⁻²: 1.46 Wm⁻² debido al CO₂; 0.48 Wm⁻² debido al CH₄; 0.34 Wm⁻² debido a los halocarbonos; y 0.15 Wm⁻² debido al N₂O.

- Se calcula que el agotamiento observado de la capa de ozono estratosférico (O_3) desde 1979 hasta el año 2000 ha causado un forzamiento radiativo negativo ($-0,15 \text{ Wm}^{-2}$). Suponiendo que se cumpla toda la reglamentación actual sobre los halocarbonos, el forzamiento positivo de los halocarbonos se reducirá. Se reducirá la magnitud del forzamiento negativo por el agotamiento del ozono estratosférico, cuando la capa de ozono se recupere en el siglo XXI.

- Se calcula que la cantidad total de O_3 en la troposfera ha aumentado un 36 % desde 1750, principalmente a causa de las emisiones antropógenas de diversos gases que forman el O_3 . Esto corresponde a un forzamiento radiativo positivo de 0.35 Wm^{-2} . El forzamiento del O_3 varía considerablemente de región en región y responde mucho más rápidamente a los cambios en las emisiones que los GEI de larga duración, como el CO_2 .

1.3. Conductores antrópicos y naturales del cambio climático.

El bióxido de carbono es el gas antropogénico más importante del gas efecto invernadero (Figura 1.15). La concentración atmosférica global del bióxido de carbono ha aumentado de un valor pre-industrial de 280 ppm a 379 ppm en 2005, excediendo en gran medida el rango natural durante los últimos 650,000 años (180 a 300 ppm) según lo determinado en los núcleos de hielo (IPCC, 2007).

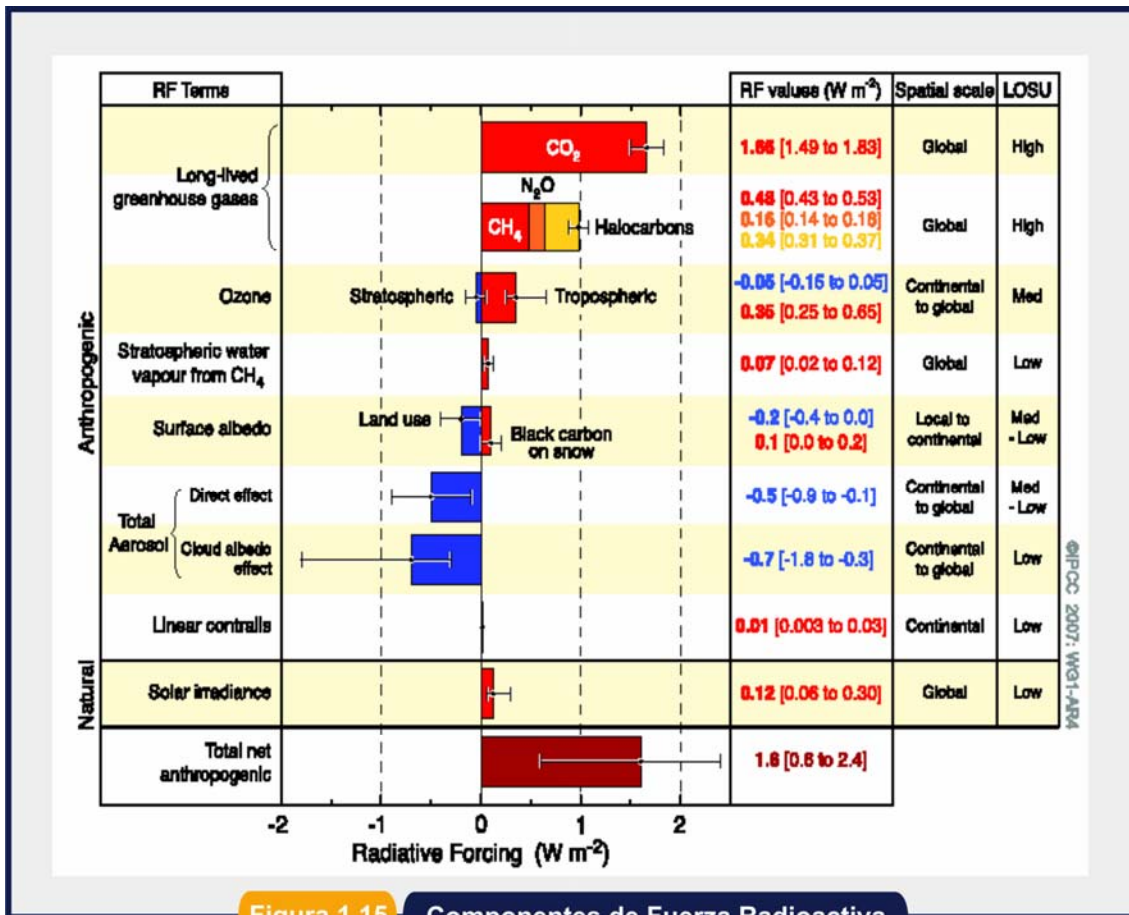


Figura 1.15 Componentes de Fuerza Radioactiva

El porcentaje global de la fuerza radiativa (RF) estimaciones y rangos en 2005 por el dióxido de carbono antropogénico (CO_2), metano (CH_4), óxido nítrico (N_2O) y otros importantes agentes y mecanismos, junto con el grado geográfico típico (escala espacial) de forzamiento y nivel determinado de la comprensión científica (LOSU, por sus siglas en inglés). El forzamiento radiativo antropogénico neto y su gama también se muestran. Éstos requieren sumar estimaciones asimétricas de la incertidumbre de los términos componentes, y no se pueden obtener por la adición simple. Los factores que fuerzan adicionales no incluidos aquí se consideran tener un LOSU muy bajo. Los aerosoles volcánicos contribuyen forzamiento natural adicional pero no se incluyen en esta figura debido a su naturaleza episódica. La gama para las estelas de vapor lineares no incluye otros efectos posibles de la aviación en nubosidad (IPCC, 2007).

La creciente fuente primaria de concentración atmosférica de bióxido de carbono desde la época pre-industrial es el uso del combustible fósil, junto con el cambio de uso de suelo proporciona otra contribución significativa. Las emisiones fósiles anuales de bióxido de carbono³ de un promedio creciente de 6.4 [6.0 a 6.8] 5 Gt C (23.5 [22.0 a 25.0] Gt CO_2) por año, en los años 90 a 7.2 [6.9 a 7.5] Gt C (26.4 [25.3 a 27.5] Gt CO_2) por año

³ Las emisiones fósiles del bióxido de carbono incluyen éstos de la producción, de la distribución y de la consumición de combustibles fósiles y como subproducto de la producción del cemento. Una emisión de 1 GtC corresponde a 3.67 Gt CO_2 .

en 2000-2005. Las emisiones de bióxido de carbono asociadas al cambio de uso de suelo, se estima que fueron de 1.6 [0.5 a 2.7] Gt C (5.9 [1.8 a 9.9] Gt CO₂) por año durante los años 90. Estas estimaciones tienen una gran incertidumbre (IPCC, 2007).

La concentración atmosférica global de metano desde la época pre-industrial ha tenido un valor de 715 ppb a 1732 ppb y ha tenido un aumento desde los inicios de los años 90's, y de 1774 ppb en 2005. La concentración atmosférica del metano en 2005 excede en gran medida el radio de acción natural de hace 650,000 años (320 ppb a 790 ppb), según lo determinado por los núcleos de hielo. Las tasas de crecimiento han declinado desde los inicios de los años 90's, consistentes con el total de emisiones (suma de fuentes antropogénica y naturales) que eran casi constantes durante este período. Es probable que el aumento observado en la concentración de metano sea debido a las actividades antropogénicas, y el predominante cambio de uso de suelo y de combustibles fósiles (IPCC, 2007).

La concentración atmosférica del óxido nitroso global aumentó de un valor pre-industrial de 270 ppb a 319 ppb en 2005. La tasa de crecimiento ha sido aproximadamente constante desde los años 80's. Más de un tercio del total de todas las emisiones del óxido nitroso son antropogénicas, en su mayoría debido a la agricultura (IPCC, 2007).

El forzamiento radiativo combinado debido a los aumentos en el bióxido de carbono, metano, y óxido nitroso es de +2.30 [+2.07 a +2.53] W m⁻², y su tasa de incremento durante la era industrial no había tenido precedente en más de 10,000 años. El forzamiento radiativo del bióxido de carbono tuvo un incremento de 20% a partir de 1995

a 2005, es el cambio más grande para cualquier década en por lo menos los últimos 200 años (IPCC, 2007).

Las contribuciones antropogénicas por aerosoles (sobre todo sulfato, carbón orgánico, carbón negro, nitrato y polvo) producen un efecto no tan negativo como los halocarbonos en otros tiempos, teniendo un forzamiento radiativo directo total de -0.5 [$- 0.9$ a -0.1] $W m^{-2}$ el forzamiento indirecto del albedo de la nube de -0.7 [$- 1.8$ a -0.3] $W m^{-2}$. Las medidas basadas en las imágenes satelitales y terrestres dan un modelado positivo, pero sigue siendo la incertidumbre un factor dominante en el forzamiento radiativo. Los aerosoles también influyen el curso de la vida y la precipitación de la nube (IPCC, 2007).

Las contribuciones antropogénicas significativas al forzamiento radiativo tienen varias fuentes. Los cambios troposféricos del ozono son debido a las emisiones de los productos químicos de ozono-formación (óxidos del nitrógeno, monóxido de carbono, e hidrocarburos) que contribuyen $+0.35$ [$+0.25$ a $+0.65$] $W m^{-2}$. El forzamiento radiativo directo es debido a los cambios en halocarbonos⁴ es $+0.34$ [$+0.31$ a $+0.37$] $W m^{-2}$ (IPCC, 2007).

1.4. Alteraciones del ciclo del carbono y biogeoquímicas.

Como parte de las alteraciones de la biodiversidad la alteración del ciclo del carbono es una prueba de las variables relacionadas con el cambio climático, ya que no solo afecta el equilibrio ambiental sino que incide directamente en la supervivencia del hombre, su economía, alimento, etcétera.

⁴ El forzar radiativo de Halocarbon se ha determinado recientemente detallada en el informe especial de IPCC's sobre salvaguardar la capa de ozono y el sistema global del clima

El ciclo del carbono es la sucesión de transformaciones espaciales y temporales del carbono (Figura 1.16). Es un ciclo biogeoquímico fundamental en la regulación del clima de la Tierra, que comprende actividades básicas para el sostenimiento de la vida. El ciclo considera dos procesos que se suceden a distintas velocidades:

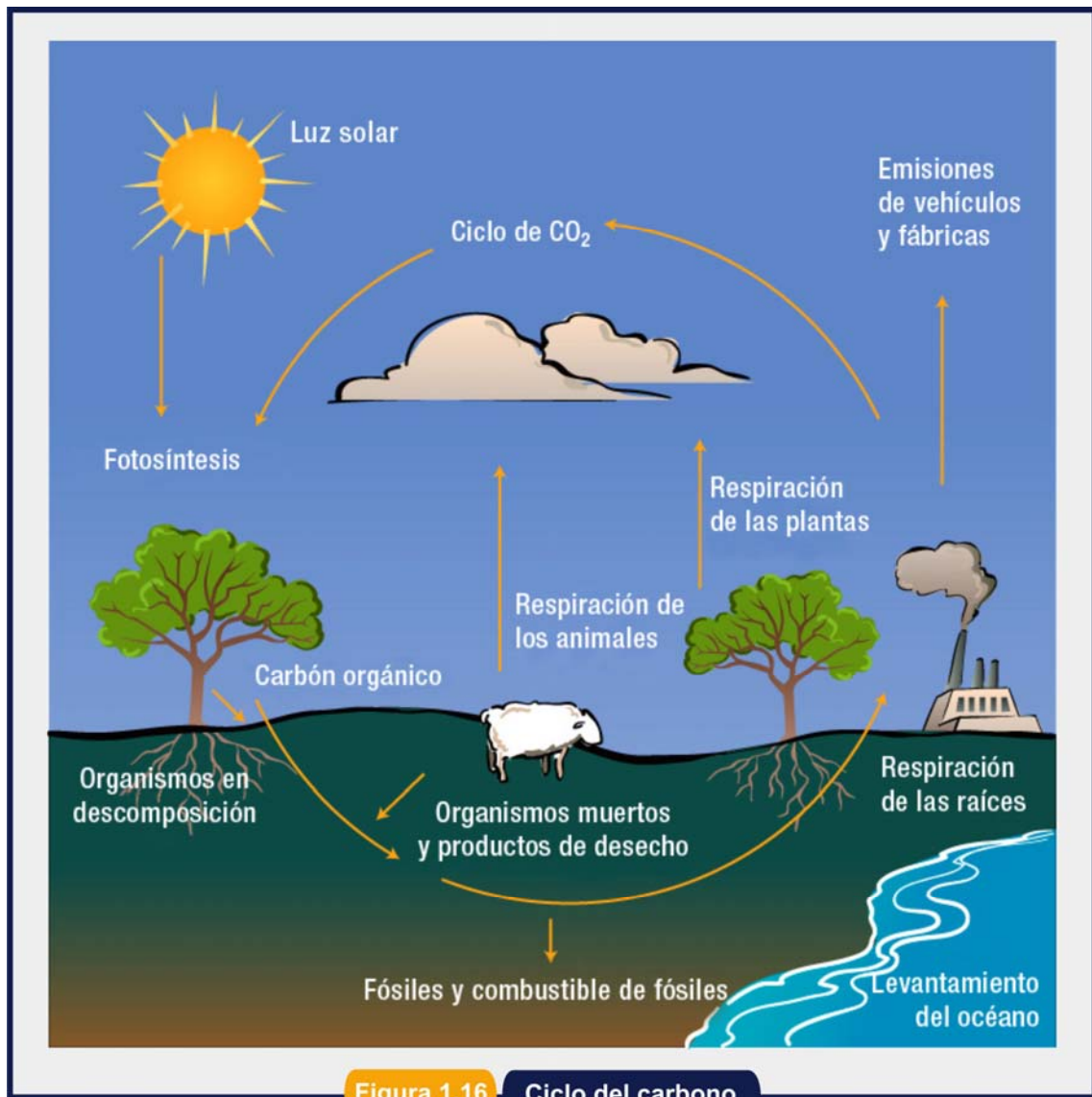


Figura 1.16 - Ciclo del carbono

Ciclo biológico: Ocurre por los intercambios de carbono (CO₂) entre seres vivos y atmósfera, es decir, la fotosíntesis. Es relativamente rápido; se calcula que la renovación del carbono atmosférico se produce cada 20 años (Almo-Labin, et al., 1998).

Ciclo biogeoquímico: Regula la transferencia de carbono entre la atmósfera, los océanos y el suelo. El CO_2 atmosférico se disuelve con facilidad en agua, formando ácido carbónico que ataca los silicatos que constituyen las rocas, y crean iones de bicarbonato. Estos iones disueltos en agua alcanzan el mar, son asimilados por los animales para formar sus tejidos, y tras su muerte, se depositan en los sedimentos. El retorno a la atmósfera se produce en las erupciones volcánicas tras la fusión de las rocas que lo contienen, éste último ciclo es de larga duración, pues comprende mecanismos geológicos (Figura 1.17). Hay ocasiones en que la materia orgánica se sepulta sin contacto con el oxígeno que la descompone, produciéndose así la fermentación que la transforma en carbón, petróleo y gas natural (Almo-Labin, et al., 1998).

Se sabe que a través de la fotosíntesis, las plantas absorben carbono y lo regresan a la atmósfera en forma de oxígeno, a través de su propia respiración. Otro gran volumen de intercambio de carbono ocurre entre la atmósfera y los océanos, los cuales atrapan el bióxido de carbono (CO_2) en su superficie, donde pueden formarse compuestos carbonatados que permanecen disueltos o se incorporan a las plantas, microalgas y bacterias fotosintéticas que viven en las capas superficiales del mar (Martínez, 1997).

La transformación del entorno gracias al cambio de uso de suelo de la tierra, se percibe a partir de la disminución en la superficie cubierta con bosques y selvas nativas, así como por el aumento en los terrenos de cultivo y bosques manejados. La creciente demanda de alimentos que impone la población mundial en constante aumento, y otros usos relacionados con las necesidades sociales (camino, presas, áreas urbanas, etc.) son algunas de las causas de dichos cambios (CBD, 2003).

Con este cambio de uso de suelo Schimel (1990) clasifica cinco grandes reservorios o almacenes de carbono en el Planeta que son: océanos, suelo, atmósfera, vegetación terrestre y combustibles fósiles.

El equilibrio entre los diversos almacenes y el carbono atmosférico es vital para la vida vegetal y la cadena trófica. El flujo de carbono entre estos reservorios es continuo, y los almacenes se han mantenido en equilibrio. El mayor de los depósitos, es el carbono inorgánico en los océanos (principalmente carbonatos y bicarbonatos) y le siguen los combustibles fósiles. El tercer almacén es el terrestre, constituido por vegetación y carbono almacenado en el suelo; este último resulta ser mayor que el primero. Las actividades humanas (cambio de uso de suelo, deforestación y quema de combustible fósil, principalmente) han provocado que este equilibrio se rompa (CBD, 2003).

También como parte del ciclo del carbono, el océano cumple con una función muy importante, se disuelve el CO_2 atmosférico a través del agua de lluvia y forma ácido carbónico el cual reacciona con los minerales expuestos en la superficie terrestre, así genera lo que se conoce como intemperismo (alteraciones) de la roca, y aporta iones de bicarbonato al océano. Con ello regula el pH del agua del mar, es una fuente primaria en

la producción de carbono y controla la circulación del CO₂ entre la biosfera, litosfera, atmósfera y el océano (CBD, 2003).

El CO₂ atmosférico entra al océano a través de la interface océano-atmósfera y participa en los procesos de equilibrio químico. El CO₂ es fijado por la respiración del fitoplancton en la producción primaria y es transformando de carbón inorgánico a orgánico (CBD, 2003).

La absorción anual del CO₂ en la superficie de los océanos varía entre 1-3 Gt de carbón pero se desconoce cuánto de ese cambio es debido a la variabilidad interanual del CO₂ atmosférico o cuales componentes son los más importantes (CBD, 2003). Esto debido a que las partículas suspendidas en la atmósfera son cada vez mayores y por lo tanto, la nubosidad aumenta provocando el efecto invernadero planetario y que las condiciones en la superficie del océano y continente cambien gradual y constantemente.

En la zona eufórica los procesos biológicos son importantes ya que consumen el carbón inorgánico para transformarlo en carbón orgánico mediante la fotosíntesis. De esta manera, la cantidad de CO₂ en la atmósfera es regulada por el mecanismo conocido como bomba biológica, que se define como el proceso mediante el cual el CO₂ empleado en la fotosíntesis es transferido al interior del océano y deviene el almacenamiento temporal o permanente del carbón (CBD, 2003).

1.5. Impactos del cambio climático.

El IPCC indica que los cambios climáticos del siglo XX ya han afectado a diversos conjuntos de sistemas físicos y biológicos. Entre los ejemplos de cambio climático figuran

el retroceso de los glaciares, el deshielo del permafrost, los cambios en las fechas de formación y rotura de los hielos de ríos y lagos. Los aumentos en las precipitaciones y la intensidad de las lluvias en la mayoría de las latitudes medias y altas del hemisferio septentrional, el alargamiento de las temporadas de crecimiento, y el adelanto de las fechas de florecimiento de los árboles, la aparición de insectos y la puesta de huevos por las aves son a su vez los efectos del impacto del cambio climático (IPCC, 2001).

A nivel regional los impactos del cambio climático serán más claros en los sistemas físico y biótico que en los sistemas sociales y económicos, que simultáneamente están sometidos a muchas presiones complejas no relacionadas con el clima; como el crecimiento de la población y la urbanización. Las indicaciones preliminares parecen indicar que algunos sistemas sociales y económicos han sido afectados por los cambios climáticos regionales del siglo XX (por ejemplo, mayores daños de inundaciones y sequías en algunos lugares) (IPCC, 2001). Por este motivo en el presente trabajo está dividido en los impactos: de sistemas naturales, económicos y sociales.

En los sistemas naturales, los cambios en la biota y los sistemas físicos observados en el siglo XX indican que los sistemas ecológicos son sensibles a cambios climáticos, que son pequeños en relación con los cambios que se han proyectado para el siglo XXI (Figura 1.18). Esta alta sensibilidad de los sistemas biológicos a los cambios climáticos a largo plazo también está demostrada en el historial paleontológico (EPA, 2002).

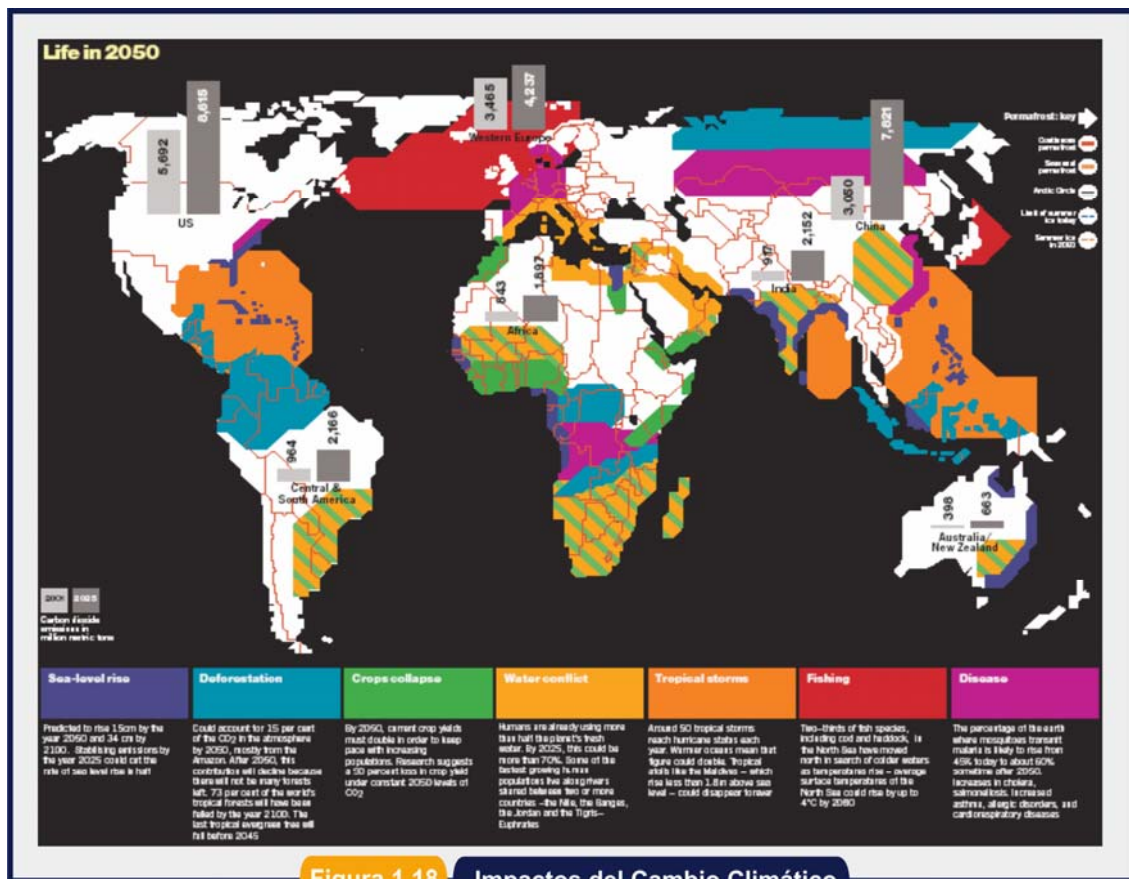


Figura 1.18 Impactos del Cambio Climático

Fuente: Environmental Protection Agency, Washington, D.C., 1998.

Con un pequeño aumento en las temperaturas medias mundiales⁵, se prevén potenciales de efectos negativos, mientras que otras muestran pocos impactos adversos o riesgos (IPCC, 2001).

Los pequeños aumentos en la temperatura media mundial pueden causar daños significativos e irreversibles a algunos sistemas y especies, inclusive posibles pérdidas en los planos local, regional o mundial. Algunas especies de plantas y animales, sistemas naturales y asentamientos humanos son muy sensibles al clima y

⁵ Los intervalos de aumento de la temperatura mundial media de 0° a 2°, 2° a 3°, y >3° C relativos a 1990 se denominan pequeños, moderados y grandes, respectivamente. El intervalo relativamente grande de los resultados denominado “pequeños” se debe a que en las publicaciones no se trata adecuadamente un calentamiento de 1° a 2° C. Estas magnitudes de cambio en la temperatura media mundial deben considerarse indicadores aproximados del momento en que se puede producir un impacto; no tienen por objeto definir umbrales absolutos o describir todos los aspectos pertinentes de los impactos del cambio climático, como el ritmo del cambio en el clima y los cambios en las precipitaciones, los sucesos climáticos extremos, o los efectos retrasados (latentes) como la elevación del nivel del mar.

probablemente sufrirán efectos adversos de los cambios climáticos relacionados con escenarios de calentamiento medio mundial de $<1^{\circ}\text{C}$. Los impactos negativos para las especies y los sistemas serían más numerosos y más graves en el caso de cambios climáticos que se producirían con un calentamiento medio mundial de 1°C a 2°C y es muy probable que fueran aún más numerosos y graves a temperaturas más altas (EPA, 2002).

Cuanto mayor sea el ritmo y la magnitud de los cambios de temperatura y otros cambios climáticos, mayor será la probabilidad de que se excedan los umbrales críticos de los sistemas. Muchos de estos sistemas amenazados están expuestos a los riesgos del cambio climático porque hacen frente a presiones no relacionadas con el clima, como las provenientes del uso y cambios en uso de la tierra así como la contaminación (IPCC, 2001).

Las especies que pueden estar en peligro de extinción en el plano local o mundial debido a los cambios en el clima, que pueden ser por un pequeño aumento de la temperatura media mundial, incluye a las especies que ocupan espacios pequeños y con bajas densidades de población. Las especies con requisitos de hábitat especiales y cuyo hábitat está fragmentado en su distribución, en particular si está expuesto a las presiones del uso humano de la tierra y los cambios en la cobertura vegetal también se encuentra en peligro. Por ejemplo, las especies que pueden estar amenazadas son las aves de los bosques de Tanzania, el quetzal resplandeciente de América Central y el gorila de montaña de África (EPA, 2002).

Los ecosistemas naturales que pueden estar amenazados incluyen los arrecifes de coral, los manglares y otros humedales costeros, los ecosistemas de montaña que están confinados a las zonas de los 220 a los 300 metros superiores de las zonas montañosas, los humedales de llanura, las tierras de pastoreo nativas que aún quedan, los hábitats de peces de agua fría y algunos de agua dulce, los ecosistemas situados sobre el permafrost, y los ecosistemas de los bordes del hielo que constituyen los hábitats de los osos polares y los pingüinos. Los asentamientos humanos que pueden estar expuestos a serios riesgos por los cambios en el clima y el nivel del mar, y que podrían ser imputables a un promedio de calentamiento de medio a mayor son los de zonas costeras bajas, las islas, las llanuras inundables y las laderas de montañas; en particular aquellos que tienen una situación social baja, como los asentamientos precarios y otros asentamientos informales (IPCC, 2001).

Los impactos económicos causados por el cambio climático se dan con un aumento pequeño de la temperatura, los impactos agregados del sector del mercado podrían ascender pocos puntos porcentuales del PIB mundial, y los impactos agregados fuera del mercado podrían ser negativos.

Es posible que la mayoría de la población resulte negativamente afectada en los escenarios de cambio climáticos negativo (aumento de medio a alto de temperatura), aun si el impacto monetario agregado neto es positivo. Con aumentos de la temperatura que va de medio a alto, los beneficios tienden a decrecer y los daños a aumentar, de modo que el cambio neto en el bienestar económico mundial resulta negativo. Algunos sectores, permiten actividades económicas (pesca, energía, etcétera), que podrían tener impactos negativos en los países desarrollados y en desarrollo. Otros sectores, como la

agricultura y la salud, podrían tener impactos netos positivos en algunos países y negativos en otros en cuanto a algunas actividades económicas (IPCC, 2001).

La distribución de los impactos económicos por el cambio climático son desiguales en los países en desarrollo tiende a ser más vulnerables al que los países desarrollados. Un pequeño aumento de la temperatura podría tener impactos negativos sobre algunos sectores de los mercados en países en desarrollo e impactos netos positivos sobre algunos sectores de mercados en países desarrollados. Los diferentes resultados se atribuyen en parte a las diferencias en las exposiciones y las sensibilidades (por ejemplo, las temperaturas actuales están por debajo de las óptimas a latitudes medias y altas para muchos cultivos, pero en el nivel óptimo o por encima de él a latitudes bajas). También se debe a la menor capacidad de adaptación de los países en desarrollo en relación con los países desarrollados (IPCC, 2001).

Con un aumento medio de la temperatura, los impactos netos positivos en la economía comenzarían a ser negativos y los impactos negativos se acentuarían. Las regiones particularmente vulnerables son, entre otras, las regiones de deltas, los pequeños Estados insulares bajos, y muchas regiones áridas en donde las sequías y la disponibilidad de agua son problemáticas aun sin un cambio en el clima. Dentro de las regiones y los países los impactos que mayormente afectarán, en términos relativos, serán a las personas empobrecidas. Los miembros más pobres de la sociedad pueden ser considerados los más vulnerables al cambio climático en razón de su falta de recursos para hacer frente a los impactos y adaptarse a ellos (IPCC, 2001).

La distribución de impactos sociales en el Siglo XXI está influenciada por varios factores. A medida que aumenten las concentraciones de GEI, la magnitud de la exposición al cambio en los estímulos del clima también será mayor. Las presiones no climáticas sobre los sistemas naturales y sociales, que aumentaran la vulnerabilidad de los sistemas, también podrán aumentar con el transcurso del tiempo como resultado del crecimiento de la población y mayores demandas de tierra, agua, infraestructura pública y otros recursos. El aumento de población, ingresos y riqueza, significa también que más personas y recursos artificiales podrían quedar expuestos al cambio climático. Lo que tendería a incrementar los daños en el mercado en términos monetarios absolutos, éste ha sido el caso en el pasado. En contraposición a estas tendencias, hay factores como mayor riqueza, tecnología y mejores instituciones, que pueden aumentar la capacidad de adaptación y reducir la vulnerabilidad (IPCC, 2001).

Con el paso del tiempo el aumento o la disminución de los impactos y la vulnerabilidad probablemente dependerán de los ritmos del cambio climático y el desarrollo tecnológico y económico, pueden diferir entre los sistemas sometidos y no sometidos a un cambio en el clima. Cuanto más rápida sea la tasa de desarrollo, más serán los recursos que estén expuestos a los cambios climáticos en el futuro, pero también será mayor la capacidad de adaptación de las futuras sociedades (IPCC, 2001).

Las futuras modalidades de desarrollo sustentable, conformarán la vulnerabilidad futura al cambio climático, y los impactos de este cambio podrían afectar a las perspectivas del desarrollo sustentable en diferentes partes del mundo. El cambio climático es una de las muchas causas de estrés que afectan a los sistemas humanos y naturales. La severidad

de muchas de estas presiones estará determinada en parte, por las modalidades de desarrollo que sigan las sociedades humanas.

El desarrollo también puede influir en la vulnerabilidad en el futuro, aumentando la capacidad de adaptación a través de la acumulación de riqueza, tecnología, información, aptitudes técnicas e infraestructura apropiada, el desarrollo de instituciones eficaces, y el fomento de la equidad. Los impactos del cambio climático podrían influir en las perspectivas del desarrollo sustentable al modificar la capacidad para producir alimentos y fibras, el abastecimiento y la calidad del agua y la salud, y desviar recursos financieros y humanos hacia las medidas de adaptación (IPCC, 2001).

La mortalidad relacionada con el calor probablemente aumentará a medida que se registren temperaturas más altas y la relacionada con el frío probablemente disminuirá. Las inundaciones pueden dar lugar a la difusión de enfermedades transmitidas por el agua, en particular en países en desarrollo. Muchos de los daños y perjuicios monetarios de los sucesos extremos tendrán repercusiones sobre una amplia gama de instituciones financieras, desde aseguradoras hasta inversionistas, bancos y fondos para el socorro en caso de desastre. Los cambios en las estadísticas de los sucesos extremos tienen consecuencias para los criterios de diseño de aplicaciones técnicas (por ejemplo, los diques, los puentes, los diseños de construcción y la zonación), que se basan en estimaciones de las frecuencias para evaluar el rendimiento económico y la viabilidad de determinadas empresas afectadas por el clima (IPCC, 2001).

El cambio climático inducido por la actividad humana puede desencadenar cambios a gran escala en los sistemas de la Tierra que podrían tener consecuencias graves a nivel

regional o mundial. Las probabilidades de desencadenar esos sucesos no se comprenden bien pero no se deben ignorar, dada la gravedad de sus consecuencias. Entre los sucesos de este tipo figuran la interrupción completa o parcial de formaciones de aguas profundas del Atlántico Norte y la Antártida, la desintegración de las capas de hielo de la Antártica occidental y de Groenlandia, y perturbaciones importantes en las dinámicas del carbono reguladas por la biosfera (IPCC, 2001).

Estas discontinuidades pueden tener graves impactos a escala regional y mundial. Varias simulaciones con modelos climáticos muestran la interrupción completa de la circulación termohalina del Atlántico Norte con un incremento en la temperatura. Aunque la interrupción completa puede tomar varios siglos, la interrupción regional de la convección y el debilitamiento significativo de la circulación termohalina pueden tener lugar en el próximo siglo. Si esto sucediera, podría dar lugar a un rápido cambio climático regional en el Atlántico Norte, con importantes impactos sobre la sociedad y los ecosistemas (IPCC, 2001).

El colapso de la capa de hielo de la región de la Antártida occidental daría lugar a un aumento mundial del nivel del mar de varios metros, a lo cual sería muy difícil adaptarse, afectando a ciudades que se encuentran casi a nivel del mar. Aunque la desintegración podría tomar muchos cientos de años, este proceso puede desencadenarse en forma irreversible en el próximo siglo. La magnitud relativa de los procesos de retroalimentación del ciclo del carbono en los océanos y la biosfera terrestre parece distorsionarse con el aumento de la temperatura (IPCC, 2001).

CAPÍTULO 2. BIODIVERSIDAD Y CAMBIO CLIMÁTICO.

El interés creciente por la conservación de la biodiversidad nos ha llevado a conceptualizarla y analizarla. En general, las aproximaciones ecológicas y conservacionistas se refieren a la preservación de riqueza en especies (diversidad alfa). La diversidad se expresa dentro de lo que denominamos especies, justamente la presencia de distintos alelos para cada gen (variación) es la fuente primordial de materia prima para el proceso evolutivo. Además, la biodiversidad se manifiesta en la heterogeneidad a nivel ecológico (diversidad beta) y en la heterogeneidad a nivel geográfico (diversidad gamma) (CBD, 2003).

A nivel ecológico, la biodiversidad tiene dos expresiones bien definidas en el análisis de comunidades: la diversidad presente en un sitio o diversidad alfa, y la heterogeneidad espacial o diversidad beta. La diversidad alfa es una función de la cantidad de especies presentes en un mismo hábitat, y es el componente más importante de la diversidad (y más comúnmente citado) por ejemplo, de las selvas tropicales húmedas y de los arrecifes coralinos. La diversidad beta es una medida del grado de partición del ambiente en parches o mosaicos biológicos, es decir, mide la contigüidad de diferentes hábitats en el espacio (CBD, 2003).

El interés por la biodiversidad se debe, en primer lugar, a la riqueza de especies de plantas y animales en el planeta, la cual tiene un valor incalculable. Es el patrimonio natural, resultado de la evolución, es decir, de un proceso histórico que ha ocurrido en el tiempo y es irrepetible (CBD, 2003). La pérdida de biodiversidad por simplificación de los ecosistemas en los últimos años se debe a la introducción de subproductos tóxicos, como el efecto directo o indirecto de las actividades humanas. Los ecosistemas

modificados por el hombre, pierden productividad en biomasa, y prácticamente en todas las ocasiones pierden su biodiversidad (CBD, 2003)

La biodiversidad es el resultado del proceso evolutivo que se manifiesta en la existencia de diferentes especies animales y vegetales. La mutación y selección determinan las características y la cantidad de diversidad que existe en un lugar y momento dado (CBD, 2003).

Solbrig (1991) define la diversidad biológica o biodiversidad como la propiedad de las distintas entidades vivas de ser variadas. Así, cada clase de entidad (gen, célula, individuo, comunidad o ecosistema) tiene más de una manifestación. La diversidad es una característica fundamental de todos los sistemas biológicos. Se manifiesta en todos los niveles jerárquicos de las moléculas a los ecosistemas (CBD, 2003).

Además del significado que tiene en sí misma, la biodiversidad es también un parámetro útil en el estudio y la descripción de las comunidades ecológicas. Tomando como base que la biodiversidad en una comunidad dada depende de la forma como se reparten los recursos ambientales y la energía a través de sistemas biológicos complejos, su estudio puede ser una de las aproximaciones más útiles en el análisis comparado de comunidades o de regiones naturales. La biodiversidad es quizá el principal parámetro para medir el efecto directo o indirecto de las actividades humanas en los ecosistemas. La transformación provocada por el hombre es la simplificación de la estructura biótica y la mejor manera de medirla es a través del análisis de la biodiversidad (CBD, 2003).

En un sentido estricto, la diversidad (un concepto derivado de la teoría de sistemas) es simplemente una medida de la heterogeneidad de un sistema. En el caso de los sistemas biológicos, la diversidad se refiere a la heterogeneidad biológica, es decir, a la cantidad y proporción de los diferentes elementos biológicos que contenga el sistema. La medida o estimación de la biodiversidad depende, entre otras cosas, de la escala a la cual se defina el problema (CBD, 2003)

Otra definición de biodiversidad, de acuerdo con la Convención sobre Diversidad Biológica (CBD por sus siglas en inglés), corresponde a la variabilidad entre organismos vivos de todas las fuentes incluyendo, la parte terrestre, marina y acuática de los ecosistemas y complejos ecológicos de los cuales son parte. Esto incluye la diversidad dentro de la especie, y entre la especie y los ecosistemas (CBD, 2003)

La biodiversidad incluye todas las plantas, animales y microorganismos, y se puede medir y expresar en diversas unidades tales como genes, individuos, poblaciones, especies, ecosistemas, comunidades y paisajes (Boyle y Boontawee, 1995). La diversidad funcional, describe las funciones ecológicas de especies o de grupos de especies en un ecosistema (por ejemplo: abundancia relativa del arbusto, árbol, y especies de hierba; la especie caducifolia contra la especie perenne), proporciona una manera adicional de medir la biodiversidad.

Los niveles que diferencian la diversidad funcional pueden afectar el funcionamiento del ecosistema, usar la diversidad funcional como descriptor de la biodiversidad proporciona una manera alternativa de entender los efectos de disturbios, incluyendo el cambio climático, en la disposición de servicios y ecosistemas (Chapin, et al., 1996).

Además de la diversidad de especies, la diversidad genética dentro de poblaciones es importante, ya que permite la adaptación continua de condiciones que cambian con la evolución, y en última instancia, para los productos y los servicios continuos del ecosistema y de la disposición. Asimismo, la diversidad entre hábitat y a nivel de paisaje, también es importante de maneras múltiples, permitiendo que los procesos de adaptación ocurran (Schwartz, et al., 2000).

Existe un componente genético o intraespecífico de la heterogeneidad biológica. Al nivel de una sola especie, puede existir mucha o poca variabilidad genética, dada por la cantidad de alelos diferentes que tenga la especie (variabilidad genotípica), y los caracteres que estos diferentes alelos codifiquen en el organismo (variabilidad fenotípica) (Benton 2001). La diversidad genética depende de la historia evolutiva de la especie, del nivel de endocría de la población, de su aislamiento reproductivo y de la selección natural a favor o en contra de la heterosis, entre otras causas. La diversidad genética es un componente muy importante de la biodiversidad y su trascendencia es bien conocida en el caso de las plantas cultivadas y de los animales domésticos, donde se realizan desde hace muchas épocas grandes esfuerzos para conservar la biodiversidad del germoplasma original, sobre la cual operan los procesos de selección genética que realizan los criadores de razas y variedades (Debinski, et al., 2001).

Sin variación genética, la transformación de la especie a través de la selección no es posible. Este nivel de la biodiversidad es también de gran importancia en las poblaciones silvestres, para las cuales la supervivencia y adaptación están frecuentemente condicionadas al mantenimiento de un número poblacional mínimo que asegure un cierto nivel de exocría y heterosis. Por debajo de este número, las poblaciones se ven con

frecuencia amenazadas por la extinción, sencillamente porque no pueden adaptarse por medio de la selección natural a los cambios que ocurren en su hábitat (Wilson, 1993).

La biodiversidad no depende sólo de la riqueza de especies sino también de la dominancia relativa de cada una de ellas. Las especies, en general, se distribuyen según sus jerarquías de abundancia, las cuales en algunas especies son muy abundantes y en otras muy raras. Cuanto mayor es el grado de dominancia de algunas especies y de rareza de las demás, menor es la biodiversidad de la comunidad (Wilson, 1993).

Para dejar claro lo anterior mostraré los conceptos de diversidad de especie, diversidad de ecosistema y diversidad genética:

La diversidad de especie se entiende por la variedad de especies existentes de una región. El número de especies de una región (su "riqueza" en especie) es una medida que a menudo se utiliza, pero una medida más precisa, es la "diversidad taxonómica" que toma en cuenta la estrecha relación existente entre unas especies y otras (Barbadilla, 1999).

Por diversidad genética se entiende la variación de los genes dentro de cada especie. Esto abarca poblaciones determinadas de la misma especie o la variación genética de una población. Depende de las variaciones en la sucesión de los cuatro pares fundamentales con que se constituye el código genético, teniendo en cuenta que en los organismos avanzados sólo una pequeña parte (frecuentemente menos del 1%) del material genético se expresa exteriormente en la forma y en el funcionamiento del organismo (Mora, 1993).

La diversidad de ecosistemas se define como el conjunto formado por una biocenosis (biótica, parte animada de un ecosistema) y un biotopo (abiótica, parte inanimada de un ecosistema). La biocenosis se define como la comunidad de organismos, plantas y animales, que ocupan determinado hábitat (Barbadilla, 1999).

La metodología para medir la biodiversidad es compleja, por que se tiene que medir desde una escala genética hasta un nivel de comunidades. Por lo tanto, solo mostrare lo más relevante según varios autores.

El número de especies es la medida frecuentemente utilizada, por varias razones (Gaston 1996): Primero, la riqueza de especies refleja distintos aspectos de la biodiversidad. Segundo, a pesar de que existen muchas aproximaciones para definir el concepto de especie, su significado es ampliamente entendido (Aguilera, 1997). Tercero, al menos para ciertos grupos, las especies son fácilmente detectables y cuantificables. Y cuarto, aunque el conocimiento taxonómico no es completo (especialmente para grupos como los hongos, insectos y otros invertebrados en zonas tropicales) existen muchos datos disponibles sobre números de especies.

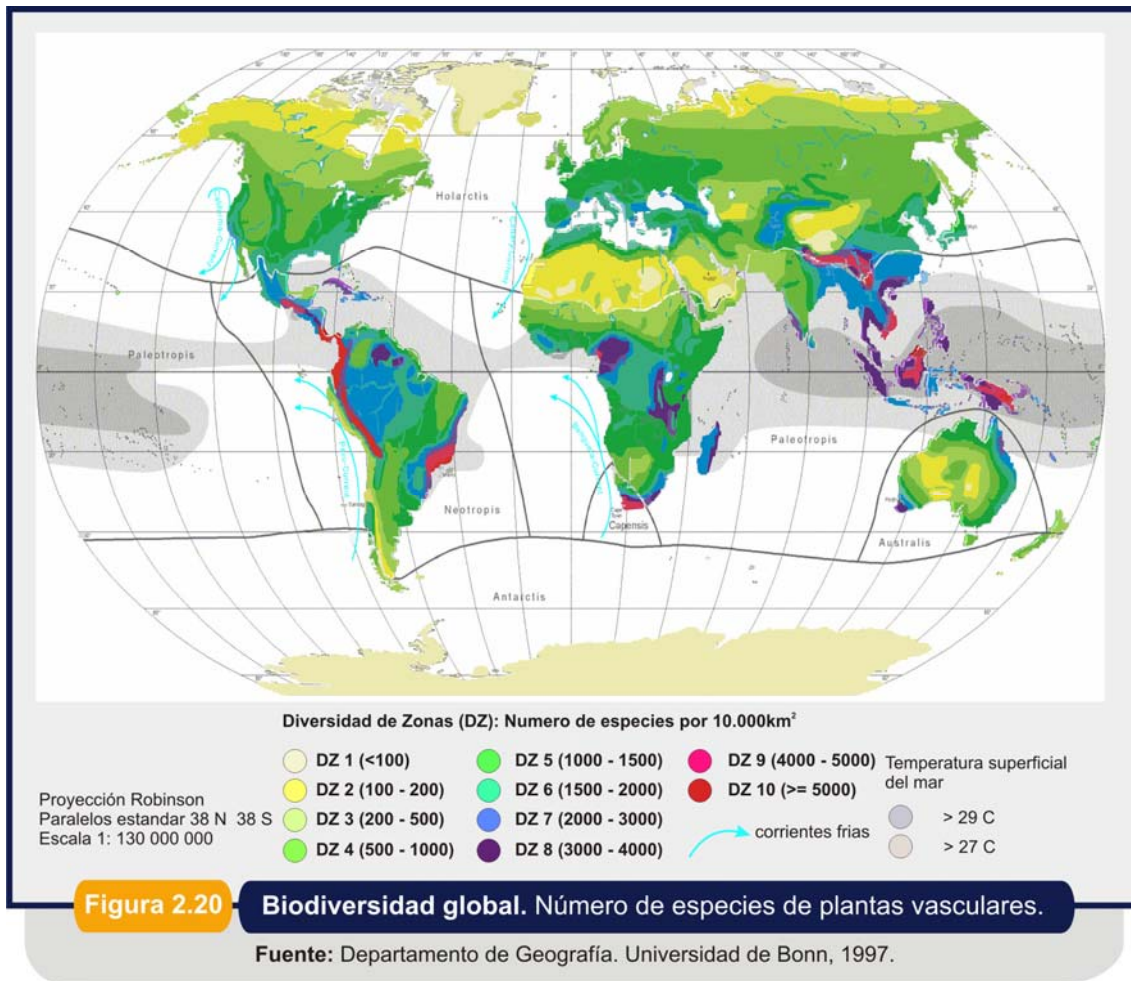
2.1. Biodiversidad en el mundo.

En la figura 2.19 se representa un índice de la diversidad basado en riqueza y endemismo, en las cuatro clases vertebrados terrestres y las plantas vasculares (Figura 2.20) en la mayoría de los países del mundo (UNEP, 1995).



Figura 2.19 Biodiversidad global

Fuente: UNEP-WCMC National Biodiversity Index. 1995



Alrededor 1.75 millones de especies se han descrito y se han nombrado formalmente hasta la fecha, y hay buenos argumentos para creer que varios millones de especies más existen, pero siguen sin ser descubiertas y sin describirse (Tabla 2.1) (UNEP, 1995).

Tabla 2.1 Número estimado de especies descritas y total global posible

| Reinos | Especies descritas | Total de especies estimadas |
|-----------------------------------|--------------------|-----------------------------|
| Bacteria | 4,000 | 1,000,000 |
| Protistas (algae, protozoa, etc.) | 80,000 | 600,000 |
| Animales | 1,320,000 | 10,600,000 |
| Hongos | 70,000 | 1,500,000 |
| Plantas | 270,000 | 300,000 |
| TOTAL | 1,744,000 | ca. 14,000,000 |

Fuente: Diversity of Life Index (2005).

2.2. Biodiversidad en México.

México se ubica entre los cinco primeros países llamados “mega-diversos”, que albergan entre 60 y 70% de la diversidad biológica conocida del planeta. La diversidad conjunta de especies en México representa aproximadamente 12% del total mundial. Dicho de otra manera, 12 de cada 100 especies conocidas en el mundo se encuentran en México. Esto representa una proporción muy superior a la que le correspondería por su superficie terrestre, de 1.5% del total (Mittermeier, 1992).

México es excepcional en el ámbito marino, que es 1.6 veces mayor que su superficie terrestre. Es uno de los países con mayor extensión de costas, tanto en los océanos Atlántico y Pacífico como en el mar Caribe, y es el único país que posee un mar exclusivo, mar de Cortés. En el Caribe, comparte con Belice, Guatemala y Honduras el segundo sistema arrecifal más grande del mundo (Reyes, et al., 2006).

Un componente especial de la excepcional biodiversidad de México es la alta proporción de las especies que sólo existen en nuestro país (denominadas endémicas). Aquí han evolucionado unas 15,000 especies de plantas (entre 50 y 60% de las especies conocidas de México hasta ahora) que son endémicas. Esto se traduce en que, la mitad o más de nuestra flora no se encuentra en ninguna otra parte del mundo. Si una de estas especies se extingue en México, desaparece del planeta. Para algunas familias de plantas como las cactáceas esta cifra es aún mayor, con 83% de sus especies y variedades que se encuentran sólo en nuestro territorio (Flores y Canseco, 2004).

México posee una gran variabilidad ecológica, resultado de una compleja topografía y geología, muy diversos climas y microclimas, lo que produce infinidad de hábitats. Todos

estos factores propician que la diversidad biológica de nuestro país no esté homogéneamente distribuida en el territorio (Ramamoorthy, et al., 1998).

2.3. Importancia de la Biodiversidad.

Los ecosistemas proporcionan muchos bienes y servicios que son esenciales para la supervivencia humana. Algunas comunidades indígenas y rurales dependen en particular de muchos de éstos para sostener su forma de vida. Los ecosistemas también tienen un papel de gran importancia en los procesos biogeoquímicos (IPCC, 2001). En esta sección se describe de manera sencilla los niveles de importancia de la biodiversidad.

En primer lugar, la biodiversidad presta servicios ambientales esenciales; muchos de los cuales se dan por sentados en las culturas urbanas e industriales y por lo tanto, no se valoran (Daily, 1997). También el balance gaseoso de la atmósfera tiene participación importante en la determinación de los climas del planeta. Sin biodiversidad nuestra atmósfera sería radicalmente diferente y el clima de la Tierra también (Dinerstein, et al., 1995). A la biodiversidad se debe la protección y acumulación de suelos fértiles, la regulación hidrológica, los balances micro y mesoclimáticos, el transporte y fijación de nutrientes y la energía (Daily, 1997).

En segundo lugar, la biodiversidad tiene un valor cultural, psicológico, ético e incluso moral; el cual es terriblemente difícil de definir pero muy fácil de percibir o intuir. El paisaje que proporciona la biodiversidad es lo que nos hace gozar ante la visión de flores y mariposas, regocijarnos por el canto de las aves o al caminar por un bosque o pradera (Ramamoorthy, et al., 1993). Esta dimensión de la biodiversidad abarca desde experiencias muy parciales y limitadas, propias de las culturas urbanas, hasta sistemas

religiosos o filosóficos basados en un respeto radical a toda forma de vida. De este tipo de culturas existen muchas, como las culturas indígenas de México, las orientales o las que existentes en otras partes del mundo. Es un hecho incontrovertible que la cultura occidental, la más alejada del respeto a la naturaleza, esta experimentando un reencuentro con corrientes de pensamiento mas totalizadores y ricos que nos mueven hacia una concepción más humilde y completa del ser humano dentro de la naturaleza (Dinerstein, et al., 1995).

Este respeto no depende necesariamente de la existencia de algún servicio ambiental amenazado, ni del valor económico actual o potencial (valor que pudiera tener en el futuro) de la especie, sino de lo que se ha dado en llamar el valor intrínseco de la biodiversidad (Pearce y Moran, 1994). Este factor no ha sido tan importante en la mente del publico en el mundo desarrollado, sin embargo, si ha sido desde siempre valorado dentro de la historia, tradición e ideología de los grupos indígenas de México y del mundo. Afortunadamente, cada vez existen más sectores sociales sensibilizados a este aspecto no económico y no utilitario de la diversidad biológica (Daily, 1997).

En tercer lugar, se pone de manifiesto el valor de la biodiversidad en términos monetarios. El ser humano no puede prescindir de los servicios ambientales y de centenares o miles de productos que provienen de la naturaleza silvestre y a los que si se les puede asignar un valor monetario (Dinerstein, et al., 1995). Entre estos servicios tenemos el control de la erosión y la recarga de acuíferos. Entre los productos y procesos encontramos las maderas preciosas tropicales, la mayor parte de los productos marinos, los controles biológicos de los cultivos, muchísimas especies ornamentales, gran cantidad de productos medicinales (tanto de uso tradicional como industrial), la inmensa

gama de productos alimenticios y los que se emplean como ornato o mascotas (Daily, 1997).

Se habla de mercados locales en los cuales el valor total intercambiado es de unos pocos de miles de dólares anuales, hasta gigantescas redes internacionales que trafican recursos bióticos en los rangos de miles de millones de dólares anuales. El contrabando de plantas y animales ornamentales es el tercero en importancia del mundo, después del narcotráfico y el tráfico de armas y se estima en un valor de 10 mil millones de dólares anuales (Daily, 1997).

Los ecosistemas proporcionan diversos productos y servicios esenciales para la supervivencia y el bienestar del hombre. Los servicios del ecosistema se pueden clasificar a lo largo de líneas funcionales, usando categorías de soporte, regulación, aprovisionamiento, y servicios culturales, según lo adoptado por el Millennium Ecosystem Assessment (Tabla 2.2).

Tabla 2.2

Servicios de ecosistemas

Los servicios esenciales del ecosistema proporcionados por la biodiversidad son:

Servicios de soporte (servicios que mantienen las condiciones para la vida en la Tierra):

Formación y retención del suelo, el completar un ciclo nutriente, producción primaria, polinización y dispersión de la semilla, producción del oxígeno, disposición del hábitat.

Servicios de regulación (ventajas obtenidas de la regulación de los procesos del ecosistema): Mantenimiento de la calidad del aire, regulación del clima, regulación del agua, control de la inundación, control de la erosión, purificación del agua, desintoxicación, control humano de la enfermedad, control biológico de la agricultura y parásito y enfermedad del ganado, protección de la tormenta.

Servicios de aprovisionamiento (productos obtenidos de ecosistemas): Alimento, combustible de madera, fibra, productos bioquímicos, medicinas naturales, productos farmacéuticos, recursos genéticos, recursos ornamentales, agua dulce, minerales, arena y otros recursos que no viven (bióticos y abióticos).

Servicios culturales (ventajas inmateriales obtenidas de ecosistemas): Diversidad e identidad culturales, valores espirituales y religiosos, sistemas del conocimiento, valores educativos, inspiración, valores estéticos, relaciones sociales, sentido del lugar, patrimonio cultural, reconstrucción y ecoturismo, comunal, simbólico.

Fuente: Millenium Ecosystem Assessment (2003). Reporte "People and Ecosystems: A Framework for Assessment".

Los servicios de los ecosistemas pueden llegar a tomar un valor de millones de dólares anualmente (Constanza, et al., 1997); sin embargo, la mayoría de estos servicios no se negocian en mercados y tampoco llevan ninguna etiqueta de precio para alertar a la sociedad de los cambios en su fuente. Se estima que 40% de la economía global se basa directamente en productos biológicos, sus procesos, y las mercancías proporcionadas por la biodiversidad; ya que representan una parte importante de muchas economías nacionales.

Los ecosistemas también proporcionan servicios esenciales para muchas comunidades locales e indígenas. Por ejemplo, unas 20,000 especies se utilizan en la medicina tradicional, de las cuales se forman las bases del cuidado médico primario para cerca de 80% de los tres mil millones personas que viven en países en vías de desarrollo (Tabla 2.2). Evaluaciones recientes por Balmford (2002) han demostrado el valor de los servicios del ecosistema.

Es importante señalar, que a pesar de la importancia global de muchos servicios de ambos ecosistemas son en gran parte desconocidos, incluso del papel que desempeñan en algunas regiones en particular. Por ejemplo, la biodiversidad contribuye actualmente en la absorción por ecosistemas terrestres y oceánicos. El 60% de bióxido de carbono que ahora se emite a la atmósfera es por actividades económicas que desarrolla el hombre, y esto retarda el índice mostrado por el IPCC del cambio global del clima.

La importancia de la biodiversidad como fuente de recursos medicinales es enorme. Para 1990, había aproximadamente 120 especies de sustancias químicas puras derivadas de plantas silvestres y que ya se aprovechaban en la farmacopea mundial. En su mayoría,

estas plantas se usaban en la medicina tradicional, las cuales provienen de unas 90 especies de plantas y su valor de mercado es de más de 43 mil millones de dólares anuales (FAO, 1997). Si consideramos que existen alrededor de 250 mil especies de plantas, las posibilidades de descubrir nuevas medicinas son incalculables. De acuerdo con Peter Raven (1990), las 20 principales drogas en uso en los Estados Unidos todavía se obtienen directamente de productos naturales, o bien, se derivaron originalmente de ellos. Los animales también representan recursos medicinales importantes; las bacterias y el veneno de serpientes se emplean para hacer vacunas, la piel y huesos de muchos animales se usan en medicina tradicional (Robinson, 1993).

A lo largo de su historia, las diferentes culturas han usado siempre los productos naturales con fines terapéuticos. Por ejemplo, en la India el empleo de las plantas medicinales es milenario y en los Vedas están codificados más de 8 mil remedios basados en plantas. En la actualidad, este sistema se aplica en miles de dispensarios en la India (Ricklefs y Schluter, 1993).

Sobre los recursos alimenticios que se obtienen de la biodiversidad, de las 250 mil especies de plantas descritas, de 10 mil a 50 mil se consideran comestibles para el ser humano pero solamente unas 200 se usan regularmente y de forma exclusiva tres (arroz, maíz y trigo) las cuales aportan el 60% de las proteínas y calorías que la humanidad obtiene de las plantas (FAO, 1997). La fauna aporta una importante proporción de proteínas en forma de carne y huevos.

Otro valor directo de la diversidad es el mejoramiento de especies cultivadas o domesticadas (principalmente alimenticias), conocido como fitomejoramiento, para el que

se aprovechan recursos genéticos de especies silvestres. Se estima que entre 1976 y 1980 las especies silvestres aportaron, solamente a los Estados Unidos, 340 millones de dólares anuales en genes para resistencias y rendimientos mejorados. Los ejemplos de utilización de genes resistentes en otros países abundan. Algunos de estos ejemplos son la resistencia a la virosis enana del arroz que se usa en 110 mil km² de arrozales en la India; los beneficios del germoplasma exótico en el trigo duro italiano se calculan en 300 millones de dólares anuales, y la tolerancia a la tripanosomiasis del ganado, la cual está permitiendo recobrar pérdidas de 5 mil millones de dólares anuales (FAO, 1997).

Asignar valores monetarios a las especies o los ecosistemas puede ser contraproducente en muchos casos, ya que puede hasta llegar a estimular su rápida explotación, e incluso su desaparición. A pesar de esto, los habitantes de las regiones donde se localiza la riqueza biológica no pueden cargar con todo el peso de mantenerla, cuando mucha gente hace uso o recibe beneficios de la misma. Existen abundantes ejemplos que muestran que bajo las circunstancias correctas de organización, existencia de derechos de propiedad, y acceso a mercados la valorización monetaria de algunos componentes de la biodiversidad conduciría al mantenimiento a largo plazo del conjunto y a la conservación de muchos otros elementos no valorados en términos monetarios (FAO, 1998).

Los ejemplos del ecoturismo en Costa Rica, el programa Campfire en Zimbabwe, algunas reservas extractivistas en Brasil, y el manejo tropical forestal comunitario en Quintana Roo, México muestran que una visión amplia e integrativa de los valores de la biodiversidad que incluya los aspectos monetario, los servicios invaluable y su importancia científica, ética, espiritual y filosófica, parecen conducir a un estado de cosas

en el cual las comunidades locales o los empresarios pueden obtener beneficios económicos de algunas especies o servicios. A su vez, les permite mantener al resto por largos periodos de tiempo (FAO, 1998).

En la Figura 2.21 se proporciona una descripción de la distribución global del bosque, incluyendo vegetación de tipo secundario que se tenía durante el final del siglo XX.



Fuente: UNEP-WCMC from numerous national and international sources, 1995.

2.4. Importancia de la biodiversidad en México.

La biodiversidad en México es importante porque la población históricamente ha vivido de ella. Se estima que los agricultores prehispánicos ya tenían 118 especies de plantas domesticadas, lo que convertía a México en uno de los principales centros mundiales de domesticación de plantas (Hernández, 1993). El 15.4% de las especies que se consumen como alimento en el mundo tienen su origen en México (FAO, 1998).

La proporción de especies endémicas en México es muy alta; por ejemplo; de 15,000 especies de plantas, (entre 50 y 60% de especies conocidas) si una de estas especies se extingue en México, desaparece para siempre del planeta (Villaseñor, 2003). La importancia de las diferentes regiones del país radica en la heterogeneidad de su territorio, ya que, gracias a esto se posee una biodiversidad diferenciada (Ramamoorthy, et al., 1998).

El agua en México tiene una disponibilidad de 4,505 m³/hab. al año; sin embargo, su distribución es desigual debido al relieve nacional (CNA, 2005). La calidad del agua en México muestra que el 73% de los cuerpos acuíferos está contaminado debido a los desechos urbanos e industriales que tienen conexión con ella y los cuerpos de agua sanos se encuentran sobreexplotados (CNA, 2005). Por ello es importante tener un manejo y proceso de tratamiento de aguas residuales adecuado.

En México en cuanto a sus recursos forestales de la cobertura vegetal total, que es de 141 millones de hectáreas y 66 millones corresponden a selvas y bosques (INEGI, 2005), solo un pequeño porcentaje es potencial forestal maderable. Este no es suficiente para abastecer el consumo interno, y aunado a esto se tiene la tala clandestina. Por otro lado, se encuentra la madera utilizada por las comunidades para uso doméstico, construcción y de leña que representa un 40% de la demanda de energía doméstica nacional (Torres, 2004). Los recursos no maderables como la candelilla contribuyen a la población de menores recursos, la que representa el 20% de la población marginada del país. Que se ayuda de plantas medicinales y otros productos como aceites y resinas (Aguilar, et al., 2006).

Las comunidades indígenas en México son quienes mayor conocimiento tienen sobre la utilización de la biodiversidad. Muchas de las especies tienen usos muy específicos y locales, pero su valor monetario es virtualmente inexistente y son utilizadas para diversos fines (autoconsumo, comerciales, industriales, recreativos, religiosos) (Caballero y Sarukhán, 1982). México cuenta con el *Atlas de las plantas de la medicina tradicional mexicana* de los autores Argueta, Cano y Rodarte en 1994, en el cual se cita 3,103 especies que han sido codificadas con propiedades medicinales. El conocimiento tradicional de los indígenas y campesinos mexicanos ha sido *reconocido* desde los trabajos clásicos del Códice de la Cruz-Badiano y el protomédico de Francisco Hernández hasta las actuales bases de datos concentradas en el Instituto de Biología de la UNAM, el Instituto Nacional Indigenista y el Instituto Mexicano del Seguro Social. Existen, además, miles de compañías y pequeños negocios que comercializan estas plantas e indirectamente, generan el conocimiento que les subyace (Sarukhán y Dirso, 1992).

Los beneficios generados por el aprovechamiento de la vida silvestre en México son de consideración ya que se obtienen más de 500 millones de pesos anualmente (Ávila-Foucat, 2006). No obstante, se tienen que fortalecer sus capacidades técnicas y financieras para extenderlos con todo su potencial y abarcar todas las regiones del país, así como consolidar mercados adecuados que beneficien a los productores directamente. La liga de estas formas de manejo sustentable (beneficios económicos) a actividades como el desarrollo de mercados para productos forestales no maderables, pagos por servicios ambientales, ecoturismo, etc., se sugiere como esencial para consolidar estos procesos de manejo y conservación con alicientes económicos para los dueños de los recursos (Ávila-Foucat, 2006).

El aprovechamiento forestal adecuado en las comunidades indígenas de México trae beneficios económicos que se obtienen de las empresas forestales comunales y que se distribuyen equitativamente entre sus comunidades y ejidos. A su vez generan empleo y recursos que se destinan a obras de beneficio social como caminos, escuelas, centros de salud, seguridad médica, reinversiones hacia el bosque o a nuevas empresas productivas (Bray, et al., 2005).

En cuanto a la diversidad biológica y cultural de México se tiene que aceptar que no existe una única forma de resolver los problemas de producción agrícola a lo largo y ancho del territorio nacional, y que debemos considerar una variedad de opciones de producción. Dicha variedad va desde la aplicación de técnicas tradicionales responsables hasta tecnologías modernas de reducido impacto ecológico, que respetan el medio ambiente y que incluyen, según las circunstancias, la agricultura orgánica, la hidroponía y el uso de cultivos transgénicos. De ello la importancia de un adecuado manejo, por ejemplo, en el año 2002 se exportó 85% de la producción de cultivos orgánicos, lo que generó para México divisas del orden de 280 millones de dólares (Willer y Yussefi, 2004). Ese mismo año, el mercado de productos orgánicos en el mundo alcanzó los 23,000 millones de dólares y cerca de 23 millones de hectáreas se manejaban mediante sistemas orgánicos.

Por otro lado, el ecoturismo en México tiene un doble propósito; que es el de conservar los ecosistemas y resolver las necesidades económicas y sociales de las comunidades cercanas. Este segmento del mercado turístico ha experimentado en los últimos años un crecimiento acelerado, llegando a representar hasta 50% del turismo especializado. En 1994, el turismo mundial orientado a la naturaleza representó aproximadamente 200,000

millones de dólares y es una fracción importante de todo el turismo internacional (Organización Mundial de Turismo, 2006).

Esta actividad productiva resulta de gran importancia para la conservación de las áreas naturales protegidas de México, ya que la propiedad de la tierra de la mayoría de la superficie sujeta a conservación es ejidal, comunal o privada. En ella habitan miles de personas que deben encontrar un sustento económico amigable con el ambiente y compatible con los programas de manejo de las áreas naturales protegidas (Kenya Wildlife Service, 1995).

Se debe añadir, que el deterioro de la vegetación en México está sometido por el cambio de uso del suelo propiciado por la introducción y expansión de la ganadería (Tabla 2.3). Todo ello se puede traducir en procesos como la fragmentación, pérdida en la capacidad de regeneración, dispersión, pérdida de especies clave, cambio en la abundancia de las especies, introducción de plantas invasoras, susceptibilidad a las plagas, etc., y un detrimento en los servicios ambientales (SEMARNAT-INE, 2006).

Tabla 2.3

Superficie en el 2002 y proyectada para 2020 y 2050 de los tipos de vegetación en México

| TIPO DE VEGETACIÓN | SUPERFICIE EN 2002 (% DEL PAÍS) | TASA DE PÉRDIDA (% ANUAL) | SUPERFICIE EN 2020 (% DEL PAÍS) | PÉRDIDA RELATIVA AL 2002 (%) | SUPERFICIE EN 2050 (% DEL PAÍS) | PÉRDIDA RELATIVA AL 2002 (%) |
|----------------------|---------------------------------|---------------------------|---------------------------------|------------------------------|---------------------------------|------------------------------|
| Bosque de Coníferas | 8.5 | 0.4 | 7.9 | 6.5 | 7.1 | 16.4 |
| Bosque de Encinos | 7.9 | 0.3 | 7.4 | 5.9 | 6.7 | 14.9 |
| Bosque Mesófilo | 0.9 | 0.6 | 0.8 | 9.9 | 0.7 | 24.3 |
| Selva Perennifolia | 4.8 | 0.8 | 4.2 | 12.7 | 3.3 | 30.5 |
| Selva Subcaducifolia | 2.2 | 0.8 | 1.9 | 13.9 | 1.5 | 32.9 |
| Selva Caducifolia | 7.9 | 0.9 | 6.8 | 14.4 | 5.2 | 34.0 |
| Selva Espinosa | 1.1 | 0.9 | 0.9 | 15.0 | 0.7 | 35.2 |
| Pastizal | 6.3 | 0.3 | 6.0 | 5.2 | 5.5 | 13.2 |
| Matorral Xerófilo | 29.9 | 0.2 | 28.8 | 3.9 | 26.9 | 10.0 |
| Vegetación hidrófila | 1.3 | 0.5 | 1.2 | 9.1 | 1.0 | 22.5 |

Promedio para el país, calculada con el comportamiento entre 1993 y 2002.

Fuente: SEMARNAT-INE (2006).

Muchos factores determinan la biodiversidad presente en un área dada en un momento dado. Los determinantes de la biodiversidad incluyen: a) los fenómenos extremos y su variabilidad; b) la disponibilidad de recursos y la productividad total del sitio (medido en términos de las características primarias de la productividad y del suelo), incluyendo disponibilidad del substrato adecuado, de la energía, del agua y de los alimentos; c) el régimen del disturbio y la ocurrencia de perturbaciones del origen cósmico, tectónico, climático, biológico o antropogénico; d) la acción original de la biodiversidad y oportunidades o barreras de la dispersión; e) el nivel de la heterogeneidad espacial; f) la intensidad y la interdependencia de interacciones bióticas tales como competición, depredación, mutualismo y simbiosis; g) y la intensidad y la clase de reproducción sexual y recombinación genética (Huston, 1994).

La biodiversidad es, por lo tanto, no es un concepto estático, pues la dinámica de procesos evolutivos y ecológicos induce un índice del fondo del cambio. El cambio climático inducido por el hombre es causado por las emisiones de gases crecientes del efecto invernadero, es una nueva perturbación, introducida en el siglo pasado, que afectará a la biodiversidad directamente o en sinergia con los determinantes anteriormente mencionados (Huston, 1994). Con estos factores también podríamos determinar que el cambio climático es un factor de cambio o alteración de la biodiversidad global.

2.5. Alteraciones de los ecosistemas terrestres y marinos.

El clima y el cambio climático pueden afectar a los ecosistemas y a la biodiversidad que albergan de muchas formas. El cambio climático ya ha contribuido a cambios observados en ecosistemas terrestres (incluyendo los suelos y las aguas en el interior) y marinos

durante décadas recientes, y estos cambios han sido a la vez beneficiosos y adversos (IPCC, 2002).

En cuanto a las alteraciones terrestres se han observado cambios en el tiempo de acontecimientos biológicos (fenología). Dichos cambios se han registrado para muchas especies:

- Temperaturas más cálidas durante otoño–primavera van a afectar a la aparición, crecimiento y reproducción de algunas especies de invertebrados resistentes al frío (IPCC, 2002).
- Entre 1978 y 1984, dos especies de ranas que vivían en el extremo norte de su hábitat tradicional, el norte del Reino Unido, comenzaron a depositar huevos 2 o 3 semanas antes de lo normal. Este cambio estaba correlacionado con la temperatura, que también mostró una tendencia al alza durante el periodo de tiempo estudiado (IPCC, 2002).
- Comienzo anticipado en el proceso de cría de algunas especies de pájaros en Europa, América del Norte y América Latina. En Europa, la puesta de huevos se ha adelantado en los últimos 23 años; en el Reino Unido 20 de 65 especies, entre las que figuran especies que migran a larga distancia, adelantaron la puesta de huevos en una media de 8 días entre los años 1971 y 1995 (IPCC, 2002).
- Cambios en migraciones de insectos y pájaros con la llegada anticipada de especies migratorias durante la primavera en Estados Unidos, el retraso en la salida de Europa durante el otoño, y cambios en las pautas migratorias en África y Australia (IPCC, 2002).
- Desequilibrio en el tiempo de cría de especies de pájaros por ejemplo, el Carbonero Común (*Parus major*), junto con otras especies, incluyendo las que se

utilizan como alimentos. Esta desigualdad podría producir una salida de los cascarones cuando los suministros de alimentos escasean (IPCC, 2002).

- Floración anticipada y la extensión de la época de crecimiento de algunas plantas (en Europa, 11 días durante el periodo de 1959 a 1993) (IPCC, 2002).

Se ha observado un desplazamiento en gamas y densidades de animales (asociado probablemente al clima) en la mayoría de los continentes, en las regiones polares y dentro de los principales grupos taxonómicos de animales (es decir, los insectos, anfibios, pájaros, y mamíferos), por ejemplo:

- Se ha notado que las variedades de mariposas en Europa y América del Norte se han desplazado hacia el polo y en altura a medida que han aumentado las temperaturas. Un estudio de 35 mariposas no migratorias en Europa ha mostrado que más del 60% se han desplazado entre 35 y 240 Km. hacia el norte durante el siglo XX. El aumento de algunas especies de mariposas de bosques y de polillas en Europa Central en los primeros años de la década de 1990, incluyendo la lagarta (*Lymantria dispar*), ha estado vinculado con el aumento en las temperaturas, igual que el desplazamiento hacia el polo de algunas especies de libélulas y alguaciles (*Odonata*), cucarachas, saltamontes y langostas (*Orthoptera*) (IPCC, 2002).
- La gama primaveral del pato marino o bernicla (*Branta leucopsis*) se ha desplazado hacia el norte a lo largo de la costa de Noruega. Algunos pájaros se han desplazado hacia el polo en el Antártico. Es posible que el rango de elevación de algunos pájaros del bosque tropical de Costa Rica también se esté desplazando (IPCC, 2002).

Los cambios en variables climáticas han producido una frecuencia e intensidad cada vez mayor de brotes de plagas y enfermedades acompañadas de desplazamientos hacia el polo o hacia altitudes más altas de los organismos que producen enfermedades/plagas. Los brotes de *Choristoneura fumiferana* siguen frecuentemente las sequías y/o los veranos secos. La dinámica del organismo que hospeda una plaga se puede ver afectada por la sequía, aumentando la presión sobre los árboles receptores y la cantidad de huevos puestos por la *Choristoneura fumiferana* (por ejemplo, el número de huevos puestos a 25°C es hasta 50% mayor que los puestos a 15°C) (IPCC, 2002).

Algunos episodios han persistido por la ausencia de heladas a finales de primavera, que no han eliminado los brotes nuevos, que son la fuente de alimentación del *Choristoneura fumiferana*. La distribución de enfermedades infecciosas transmitidas por vectores (como la malaria y el dengue) y las transmitidas por los alimentos y el agua (como la diarrea) se han visto afectadas por cambios en factores climáticos. En Suecia la incidencia de encefalitis transmitida por garrapatas aumentó y se extendió hacia el norte tras inviernos menos fríos durante los años 1980 a 1994 (IPCC, 2002).

Ecosistemas de alta latitud situados en el hemisferio norte se han visto afectados por el cambio climático regional. Grandes áreas terrestres en el Ártico han mostrado una tendencia al aumento de la temperatura del aire durante el siglo XX de hasta 5°C, en contraste con las zonas que se enfrían en el Este de Canadá, en el Atlántico Norte y en Groenlandia. El clima más cálido ha aumentado los días de crecimiento un 20% para la agricultura y la silvicultura en Alaska, y los bosques boreales se expanden hacia el norte con un régimen aproximado de 100 a 150 km. por °C. Se ha observado una alteración en la composición específica de plantas en la tundra, sobre todo de forbs y líquenes. Las

temperaturas más altas del suelo y la fusión estacional más profunda estimulan el desarrollo del termokarst en un permafrost discontinuo relativamente cálido. Debido al termokarst, algunos bosques boreales en el centro de Alaska se transformaron en amplios humedales durante las últimas décadas del siglo XX. El área de bosque boreal quemado anualmente en el Oeste de América del Norte se ha duplicado durante los últimos 20 años, siguiendo la tendencia al calentamiento en la región. Se ha observado una tendencia similar en los bosques de Eurasia (IPCC, 2002).

En cuanto a las alteraciones marinas, los arrecifes coralinos se encuentran afectados adversamente por el aumento de temperaturas en la superficie del mar. Muchos arrecifes coralinos viven cerca o en el mismo umbral de su tolerancia de temperatura. Desde hace algunas décadas se viene registrando en la mayoría de los océanos tropicales un aumento en las temperaturas en la superficie marina. Muchos corales han sufrido grandes, aunque a menudo parcialmente reversibles, episodios de decoloración cuando la temperatura media de la superficie marina ha aumentado en 1°C en un año determinado; mientras que un aumento de 3°C puede causar la muerte de los corales (IPCC, 2002).

Esto ocurre frecuentemente durante los fenómenos asociados con El Niño. Por ejemplo, la decoloración generalizada de la Gran Barrera de Arrecifes, que ha producido la muerte de algunos corales, ocurrió en los años 1997 y 1998, y se asociaba con un importante fenómeno relacionado con El Niño en el que las anomalías en las temperaturas de la superficie marina eran las más extremas de los pasados 95 años. La decoloración de los corales en los años 1997 y 1998 fue la más extendida geográficamente ya que afectó en todas zonas coralingeas del mundo, e incluso produjo la muerte de algunos de ellos. La

decoloración también se encuentra asociada con otros problemas como la contaminación y las enfermedades (IPCC, 2002).

Las enfermedades y la toxicidad han afectado a los ecosistemas costeros. Los cambios en la frecuencia e intensidad de las precipitaciones, el pH, la temperatura del agua, el viento, el CO₂ disuelto, y la salinidad, combinados con la contaminación antropogénica por nutrientes y toxinas, pueden afectar a la calidad del agua en estuarios y en el mar (IPCC, 2002).

Algunos organismos de enfermedades marinas y algunas especies de algas, incluyendo las asociadas con floraciones tóxicas, se ven muy afectadas por uno o más de estos factores. En décadas recientes, se ha informado sobre una mayor incidencia de enfermedades que afectan a los arrecifes coralinos y pastos marinos, especialmente en el Caribe y en océanos templados. El aumento de la temperatura del agua asociada con El Niño se ha correlacionado con la enfermedad Dermo (causada por el parásito protozoario *Perkinsus marinus*) y la enfermedad conocida como Espora Multinucleada Desconocida (MSX por sus siglas en inglés) en ostras a lo largo de las costas del Golfo y del Atlántico en Estados Unidos (IPCC, 2002).

Cambios en los sistemas marinos, sobre todo en las poblaciones de peces, se han vinculado a oscilaciones climáticas a gran escala. Los factores climáticos afectan a los elementos bióticos y abióticos que influyen en el número y la distribución de organismos marinos, especialmente los peces. Las variaciones (con ciclos de 10 a 60 años o más) en el volumen de biomasa de los organismos marinos dependen de la temperatura del mar y de otros factores climáticos. Entre los ejemplos se incluyen las fluctuaciones periódicas

en los regímenes hidrográficos y climáticos en el Mar de Barents, que se ven reflejadas en las variaciones en la producción comercial de peces durante los últimos 100 años. De forma parecida, los registros de capturas de bacalao en el Noroeste del Océano Atlántico durante el periodo de 1600 a 1900 muestran una clara correlación entre dichas capturas y la temperatura del agua a la vez que ciclos de 50 a 60 años durante los que han tenido lugar cambios en la estructura de la población de bacalao (IPCC, 2002).

Variaciones a más corto plazo en el bacalao del Mar del Norte se han relacionado con una combinación de pesca excesiva y de calentamiento durante los últimos 10 años. Acontecimientos de una duración de menos de una década, como los de El Niño, afectan a los bancos de pesca (de arenques o sardinas) de las costas de América del Sur y África. Las oscilaciones que se registran de década en década en el Pacífico se vinculan a una disminución de los bancos de pesca en la Costa Oeste de Estados Unidos. La temperatura anómalamente fría de la superficie del agua el noroeste del Atlántico en los primeros años de la década de 1990 cambió la composición de las especies de peces en la superficie del agua de los Grand Banks de Terranova (IPCC, 2002).

Se han detectado grandes fluctuaciones en la cantidad de pájaros y mamíferos marinos en todo el Pacífico y el Oeste Ártico, muchas de ellas pueden estar relacionadas con los regímenes cambiantes de alteraciones, variabilidad climática y acontecimientos extremos. Cambios persistentes en el clima pueden afectar a las poblaciones de los predadores principales, afectando de esta forma a la cantidad de organismos existentes en la cadena alimenticia. En las Islas Aleutianas, las poblaciones de peces han sido impulsadas por fenómenos climáticos y la pesca excesiva, cambiándose de esta forma el comportamiento y el tamaño de las poblaciones de orcas y nutrias de mar (y afectando

de esta forma los bosques de quelpo). Las aves marinas dependen de especies de peces específicas, sobre todo durante la época de cría, por lo tanto son muy sensibles a pequeños cambios en el entorno oceánico, tales como los resultantes del cambio climático (IPCC, 2002).

La disminución de algunas especies de aves marinas, el aumento del número de algunas especies muy comunes y los cambios en la ubicación de otras especies han sido asociados con los cambios que se han registrado en los sistemas actuales (por ejemplo, en California). Sin embargo, los cambios en los parámetros de población y su ubicación podrían verse influenciados por cambios en las poblaciones de los peces que son presas, así como en las pautas de migración de aves y, por ello, no pueden ser claramente atribuidos a cambios en las corrientes oceánicas ni al cambio climático. Se ha discutido que su larga duración de vida y variación genética dentro de algunas grandes poblaciones pueden hacer que las aves marinas sobrevivan a fenómenos ambientales adversos a corto plazo, tal y como se ha mostrado en las respuestas a fenómenos asociados con El Niño y La Niña en el Pacífico tropical. Sin embargo, pequeñas poblaciones que dependen de un hábitat restringido (el Pingüino de las islas Galápagos) se pueden ver afectadas adversamente (IPCC, 2002).

2.6. Proyecciones del cambio climático a futuro.

Si todos los agentes que realizan los forzamientos radiativos mantienen constantes los niveles del año 2000, y si en las próximas dos décadas continua la tendencia de calentamiento; el planeta tendrá un índice de aumento en la temperatura de 0.1°C por década, principalmente en los océanos (IPCC, 2007).

Los avances en el cambio climático ahora permiten modelar mejores estimaciones y el calentamiento proyectado servirá para elaborar diversos panoramas de emisión. Los calentamientos superficiales medios globales proyectados para el final del siglo XXI (2090-2099) concerniente a 1980-1999 se muestran en la tabla 2.4. En la tabla se ilustran las diferencias entre los panoramas más bajos y más altos de las emisiones de SRES⁶ (Reporte Especial en Escenarios de Emisiones), y la incertidumbre del calentamiento proyectado asociada a estos panoramas (IPCC, 2007).

Las mejores estimaciones y las tasas probables para el aire superficial medio global que se calienta para seis panoramas del registro de emisiones de SRES (Reporte Especial en Escenarios de Emisiones) se dan en este cálculo y se demuestran en la figura 2.22. La mejor estimación para el panorama bajo (B1) es 1.8°C (la tasa probable es 1.1°C a 2.9°C), y la mejor estimación para el alto panorama (A1FI) es 4.0°C (la tasa probable es 2.4°C a 6.4°C). Aunque estas proyecciones son ampliamente constantes con el espacio propuesto en el TAR (Tercer Reporte de Evaluación) (1.4°C a 5.8°C), no son directamente comparables (Figura 2.22) (IPCC, 2007).

⁶ SRES se refiere al informe especial de IPCC en escenarios de emisiones (2000). Las familias de los panoramas de SRES y los casos ilustrativos, no incluyen iniciativas adicionales del clima. Concentraciones equivalentes aproximadas del bióxido de carbono que corresponden a forzamiento radiativo registrado, debido a los gases y a los aerosoles antropogénico de gas invernadero en 2100.

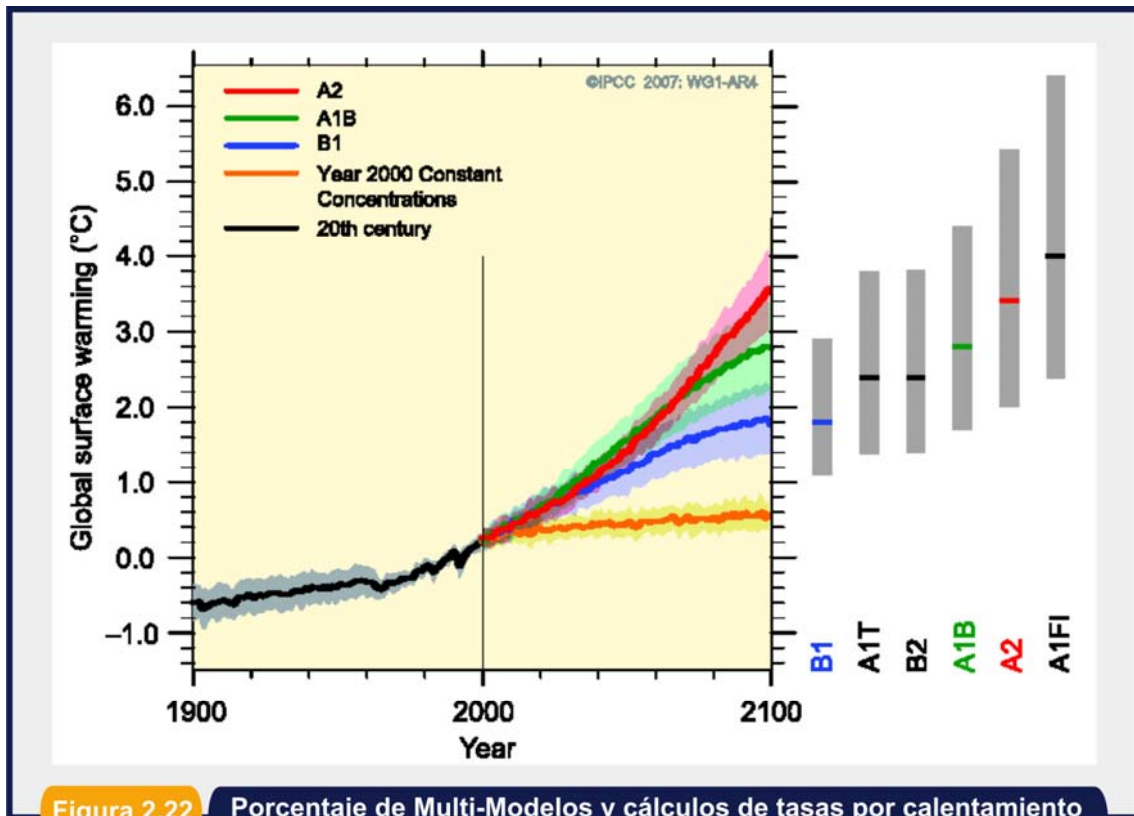


Figura 2.22 Porcentaje de Multi-Modelos y cálculos de tasas por calentamiento en la Superficie.

Las líneas son promedios globales del multi-modelo de calentamiento superficial (concerniente a 1980-1999) para los panoramas A2, A1B y B1, demostrados en las simulaciones del siglo XX. Lo sombreado denota la tasa de desviación de estándar ± 1 de promedios anuales de modelos individuales. La línea anaranjada es para el experimento donde las concentraciones fueron llevadas a cabo constantes en los valores del año 2000.

Las barras negras en la derecha indican la mejor estimación (de línea llena dentro de cada barra) y la gama probable determinada para los seis panoramas del marcador de SRES. La proyección de la mejor estimación y de las tasas probables de las barras negras incluye el AOGCM's en la parte izquierda de la figura, así como resultados de una jerarquía de modelos independientes y de observaciones constantes.

Para el panorama A2, la regeneración del ciclo del clima-carbón aumenta el calentamiento medio global correspondiente en 2100 en más que 1°C. Las tasas superiores determinadas para las proyecciones de la temperatura son más grandes en el TAR (Tercer Reporte de Evaluación) (Figura 2.22) principalmente porque la tasa más amplia de los modelos ahora disponibles sugieren regeneraciones más fuertes del ciclo del clima-carbón (IPCC, 2007).

Las proyecciones Modelo-basadas en el porcentaje del aumento del nivel del mar para el final del siglo XXI (2090-2099) se demuestran en la tabla 2.4. Para cada panorama, el

punto medio de la tasa en la figura 2.23 está dentro del 10% del promedio del modelo del TAR para 2090-2099. Las tasas son más estrechas que en el TAR, debido principalmente a una mejor información sobre algunas incertidumbres a algunas contribuciones proyectadas (IPCC, 2007).

Tabla 2.4 Porcentaje de proyecciones globales del calentamiento superficial y elevación del nivel del mar para finales del siglo XXI.

| Case | Temperature Change (° C at 2090-2099 relative to 1980-1999) ^a | | Sea Level Rise (m at 2090-2099 relative to 1980-1999) |
|--|---|--------------|--|
| | Best estimate | Likely range | Model-based range excluding future rapid dynamical changes in ice flow |
| Constant Year 2000 concentrations ^b | 0.6 | 0.3 - 0.9 | NA |
| B1 escenario | 1.8 | 1.1 - 2.9 | 0.18 - 0.38 |
| A1T escenario | 2.4 | 1.4 - 3.8 | 0.20 - 0.45 |
| B2 escenario | 2.4 | 1.4 - 3.8 | 0.20 - 0.43 |
| A1B escenario | 2.8 | 1.7 - 4.4 | 0.21 - 0.48 |
| A2 escenario | 3.4 | 2.0 - 5.4 | 0.23 - 0.51 |
| A1F1 escenario | 4.0 | 2.4 - 6.4 | 0.26 - 0.59 |

Notas:
a Estas estimaciones se determinan de una jerarquía de los modelos que abarcan de un modelo simple del clima, varios Modelos de Sistema de la Tierra de Complejidad Intermedia y un largo número de Modelos de Circulación General Océano-Atmósfera (AOGCM's).
b Composición constante es derivada del año 2000 para AOGCM's solamente.

El aumento en la concentración atmosférica de bióxido de carbono conduce al aumento de la acidificación del océano. Las proyecciones basadas en escenarios de SRES dan reducciones en el porcentaje de la superficie global del océano pH¹⁶ entre 0.14 y 0.35 unidades sobre el siglo XXI, agregando a la actual disminución de 0.1 unidades desde épocas pre-industriales (IPCC, 2007).

El calentamiento proyectado en el siglo XXI muestra patrones geográficos de escenarios-independientes y similares a éstos, el excedente observado en el pasado de varias décadas. El mayor incremento del calentamiento global se espera que sea sobre tierra en latitudes en mayor cantidad hacia el norte y menos sobre el océano y las partes meridionales del Océano Atlántico Norte (Figura 2.23) (IPCC, 2007).

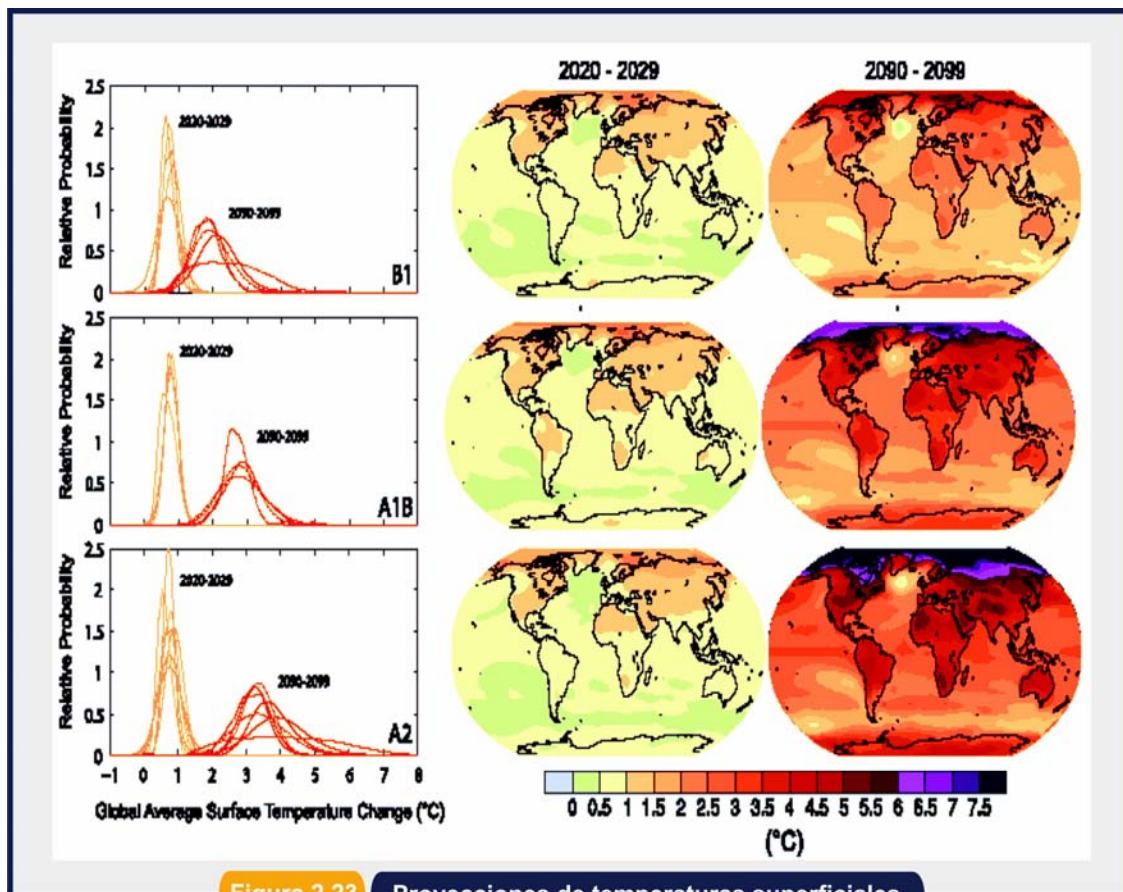


Figura 2.23 Proyecciones de temperaturas superficiales

Cambios de temperatura superficial proyectados para el siglo XXI relativo al período 1980-1999. Los paneles centrales y derechos demuestran las proyecciones del promedio del multi-modelo de AOGCM para los panoramas de B1 (cima), de A1B (medio) y de A2 SRES (inferior) hechos un promedio sobre las décadas 2020- 2029 (centro) y 2090-2099 (derecho). Los paneles izquierdos demuestran que corresponden a incertidumbres como las probabilidades relativas de calentamiento medio global estimado de diferentes AOGCM y del Modelo de Sistema de la Tierra y Complejidad Intermedia estudiada para los mismos períodos. Algunos estudios actuales resultan solamente para un subconjunto de panoramas de SRES, o para varias versiones de modelo. Por lo tanto la diferencia en el número de las curvas demostradas en los paneles izquierdos es debida solamente a las diferencias en la disponibilidad de resultados (IPCC, 2007).

La cobertura de nieve se proyecta a contraerse. El deshielo en la profundidad del suelo está incrementándose y se proyecta en la mayoría de las regiones del permafrost (IPCC, 2007). El hielo del mar se proyecta para contraerse en el Ártico y el Antártico bajo todos los panoramas de SRES (Reporte Especial en Escenarios de Emisiones por sus siglas en ingles). En algunas proyecciones, el hielo ártico del mar de finales de verano desaparece casi enteramente en la última parte del siglo XXI (IPCC, 2007).

Es muy probable que las temperaturas extremas, las olas de calor y los acontecimientos de grandes precipitaciones continúen, siendo cada vez más frecuentes (IPCC, 2007).

De acuerdo con una gama de modelos, es probable que los próximos ciclones, tifones o huracanes tropicales (se nombra de acuerdo al lugar del mundo donde se genere éste fenómeno meteorológico) lleguen a ser más intensos, con velocidades del viento máximas más altas y precipitación más pesada, al mismo tiempo que serán asociadas a aumentos en curso de las temperaturas superficiales del mar tropical. Hay menos confianza en proyecciones de una disminución global en el número de ciclones tropicales. El aumento es evidente en la proporción de tormentas muy intensas desde 1970, en algunas regiones es mucho más grande ya que es simulado por los modelos actuales para ese período (IPCC, 2007).

Las trayectorias de las tormentas extratropicales se proyectan para mover los postes de viento, con los cambios en las direcciones en el viento, precipitación y patrones de temperatura; continuando con el amplio patrón de tendencias observadas sobre el último medio siglo (IPCC, 2007).

Desde el Tercer Reporte de Evaluación (TAR por sus siglas en inglés), hay una comprensión que mejora los patrones proyectados de la precipitación. Los aumentos en la cantidad de precipitación son muy probables en altas latitudes, mientras que las disminuciones son probables en la mayoría de las regiones subtropicales de la tierra (por tanto como el cerca de 20% en el panorama de A1B en 2100, Figura 2.24), continuando con patrones observados en tendencias recientes (IPCC, 2007).

De acuerdo con simulaciones modelo actuales, es muy probable que la Circulación Sobre Meridional (MOC, por sus siglas en inglés) del Océano Atlántico se retrase durante el siglo XXI. La reducción media multi-modelo del año 2100 es de 25% (gama a partir de la cero al cerca de 50%) para el panorama A1B de la emisión de SRES (Reporte Especial en Escenario de Emisiones). Las temperaturas en la región atlántica se proyectan en aumento y a pesar de tales cambios, debido a calentamiento, es mucho más grande el aumento proyectado en gases de efecto invernadero. Es muy probable que el MOC experimente una transición abrupta durante el siglo XXI. Los cambios a largo plazo en el MOC no se pueden determinar con exactitud (Figura 2.24) (IPCC, 2007).

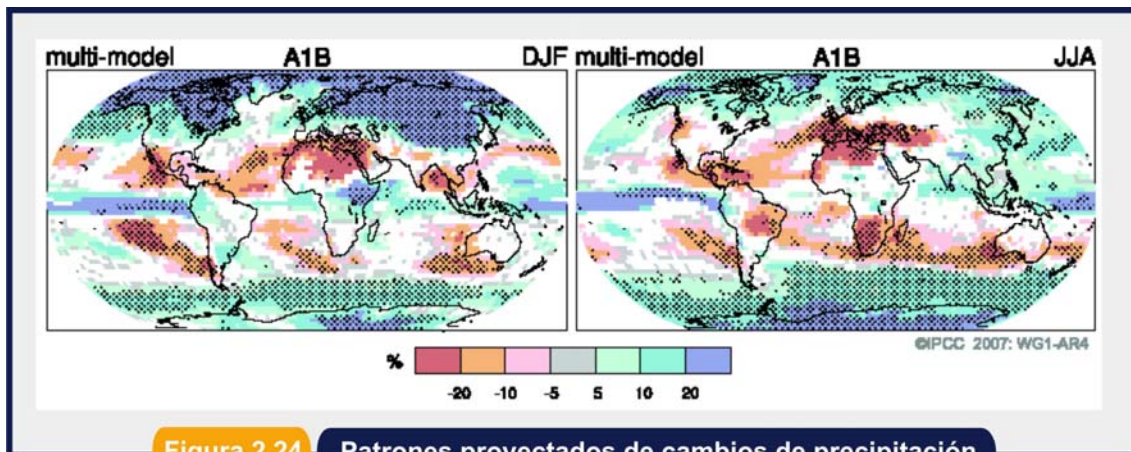


Figura 2.24 Patrones proyectados de cambios de precipitación

Los cambios relativos a la precipitación (en por ciento) para el período 2090-2099, concerniente a 1980-1999. Los valores son promedios del multi-modelo, basados en el panorama de SRES A1B para diciembre a febrero (a la izquierda) y a junio a agosto (derecho). Las áreas blancas son donde menos de 66% de los modelos de acuerdo a la muestra del cambio y las áreas punteadas son donde más los de 90% de los modelos de acuerdo a la muestra del cambio (IPCC, 2007).

Si se estabilizara el forzamiento radiativo en el año 2100 los niveles de A1B, la extensión termal solamente conduciría de 0.3 a 0.8 m en el aumento del nivel del mar por el año 2300 (concerniente a 1980-1999). La extensión termal continuaría por muchos siglos, debido al tiempo requerido para transportar calor en el océano profundo (IPCC, 2007).

Los efectos del cambio climático en la biodiversidad se ven reflejados en la contracción de la placa de hielo en Groenlandia, y se proyecta que siga contribuyendo al aumento del nivel del mar después del año 2100. Las pérdidas totales del hielo aumentan con la temperatura más rápidamente que los aumentos debidos a la precipitación y el equilibrio total de la superficie lo cual llega a ser negativo, en un promedio global de calentamiento (valores pre-industriales en relación con) en el exceso de 1.9°C a 4.6°C. Si un equilibrio total superficial negativo fuera sostenido por milenios, ése conduciría a terminar virtualmente la eliminación de la placa de hielo de Groenlandia y como resultado un incremento en el nivel del mar de cerca de 7 m. Las temperaturas futuras correspondientes en Groenlandia son comparables a las deducidas para el período interglacial pasado de hace 125,000 años (IPCC, 2007).

Los procesos dinámicos se relacionaron con el flujo del hielo no incluido en modelos actuales pero sugeridos por observaciones recientes y que podrían aumentar la vulnerabilidad de las placas de hielo al calentarse, y por consiguiente aumentar nivel del mar. La comprensión de estos procesos es limitada y no hay consenso en su magnitud (IPCC, 2007).

Se espera que el modelo global actual que estudia el proyecto de la placa de hielo en la Antártica, siga siendo demasiado fría para la extensa superficie que se derrite y que gane en masa debido a las nevadas crecientes. Sin embargo, la pérdida neta de masa de hielo podría ocurrir si la descarga dinámica del hielo domina el equilibrio total de la placa de hielo (IPCC 2007). Las últimas emisiones antropogénicas y futuras del bióxido de carbono continuarán contribuyendo al aumento de temperatura y de nivel del mar, en

más de un milenio, debido a la escala de tiempo requerida para la eliminación de este gas en la atmósfera (IPCC, 2007).

Los efectos en México por el deterioro ambiental en materia forestal registro una disminución media anual de 0.4%, que fue resultado de la pérdida promedio anual de alrededor de 260,000 ha. de bosque de coníferas y latifoliadas, provocada tanto por las actividades silvícolas sin manejo sustentable de los bosques como por la tala clandestina e incendios forestales (SEMARNAT-INE, 2006).

En el caso de la atmósfera, se estiman emisiones primarias de contaminantes con una tasa de crecimiento aproximada del 2.1% anual. La erosión mostró una pérdida del recurso suelo con una tasa promedio anual del 0.8%. Se observó un aumento en la contaminación por residuos sólidos municipales de 2.3% anual, lo que resulta de la generación per-cápita de basura cercana a los 357 kilogramos anuales en promedio (SEMARNAT-INE, 2006).

El flujo de agua registró descargas residuales a los principales cuerpos de agua del país, como lagos, lagunas, estuarios y ríos, a una tasa de crecimiento media anual de 1.6%. Esta situación se ve agravada por el bajo volumen de tratamiento de las aguas residuales generadas (alrededor de 26%), aunado a la precaria calidad con que cuenta el recurso, que se ubica entre las más bajas en el mundo, según el indicador de calidad del agua desarrollado por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente y que coloca a México por debajo de países como Costa Rica, Brasil o Argentina (SEMARNAT-INE, 2006). Para resarcir los daños causados al ambiente en México en un periodo de seis años sería necesario el 50% del PIB Nacional de un año para mantener

el entorno ecológico, que debería de ser mínimo 14 veces más grande del actual (SEMARNAT-INE, 2006).

De los elementos del medio natural que se verán modificados con el cambio climático, destaca la diversidad biológica, tanto aquella relacionada con la diversidad de especies, como la referente a la riqueza de ecosistemas y la riqueza genética. México es considerado como uno de los cinco países de mayor diversidad biológica con el 60% de la riqueza biológica del planeta. Nuestro territorio es uno de los mayores centros de biodiversidad en el mundo. De los grupos biológicos más representativos y más susceptibles a las modificaciones del hábitat destacan los vertebrados (SEMARNAT-INE, 2006).

México cuenta con alrededor de 530 especies de mamíferos registradas, de las cerca de 5,100 en el mundo, ocupando el tercer lugar después de Indonesia y Brasil. A la presión de modificación del hábitat natural de este grupo debe agregarse el cambio climático que afectará su distribución actual, a menos que se implementen medidas adaptativas para su conservación (SEMARNAT-INE, 2006).

CAPÍTULO 3. MITIGACION Y ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMATICO EN LA BIODIVERSIDAD.

3.1. Mitigación al cambio climático.

El propósito de la mitigación es la reducción de la vulnerabilidad, es decir la atenuación de los daños potenciales sobre la vida y los bienes causados por un evento de carácter: geológico, como un sismo o tsunami, hidrológico, inundación o sequía, sanitario o eventos fortuitos, como por ejemplo un incendio.

Se entiende también por mitigación al conjunto de medidas que se pueden tomar para contrarrestar o minimizar los impactos ambientales negativos que pudieran tener algunas intervenciones andrógenas.

De acuerdo con el tipo de mitigación, los escenarios se clasifican en cuatro categorías: escenarios de estabilización de las concentraciones, de las emisiones, escenarios dentro de un margen de emisiones tolerables y otros escenarios de mitigación propuestos por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC por sus siglas en ingles). Los escenarios incluyen emisiones de dióxido de carbono (CO₂) relacionadas con la energía; algunos escenarios también incluyen emisiones de CO₂ resultantes de cambios en el uso de la tierra y de procesos industriales, y de otros GEI importantes (IPCC, 2007)

Las opciones de política utilizadas en los escenarios de mitigación examinados tienen en cuenta los sistemas de energía, los procesos industriales y el uso de la tierra, y dependen de la estructura del modelo subyacente. La mayoría de los escenarios introducen impuestos simples sobre el carbono o restricciones relativas a las emisiones o los niveles de concentración de carbono. Se introducen metas regionales en los modelos

que hacen un desglose por regiones. La comercialización de los permisos de emisión aparece por primera vez en trabajos más recientes. Algunos modelos emplean políticas de introducción de tecnologías que actúan sobre la oferta, mientras que otros ponen el énfasis en una tecnología eficiente del lado de la demanda (IPCC, 2007).

Los escenarios en los que se observa una reducción de las emisiones de GEI tienden a mostrar una mejor gestión de gobierno, un aumento de la equidad y una mayor participación política, una disminución de los conflictos y un mejoramiento de la calidad del medio ambiente. También tienden a mostrar una mayor eficiencia energética, una preferencia por las fuentes de energía de origen no fósil o una evolución hacia una economía post-industrial (basada en los servicios).

La población tiende a estabilizarse en niveles relativamente bajos, en muchos casos gracias a un mayor grado de prosperidad, a la ampliación de los servicios de planificación de la familia y al reconocimiento de mayores derechos y oportunidades para las mujeres. Una consecuencia clave es que las políticas de desarrollo sustentable pueden contribuir en gran medida a la reducción de las emisiones (IPCC, 2007) (Tabla 3.5).

A1. La línea de historia A1, describe un panorama de un mundo futuro con un rápido desarrollo económico, los picos de población global a mediados de siglo con una posterior declinación, la rápida introducción de nuevas y eficientes tecnologías. Los importantes temas subyacentes son la convergencia entre regiones, la creciente capacidad de interactuar cultural y socialmente, con una reducción substancial de las diferencias regionales por ingreso per-cápita. El panorama de la familia A1 se convierte en tres grupos que describen direcciones alternativas del cambio tecnológico en el sistema de energía.

Los tres grupos de A1 son distinguidos por sus énfasis tecnológicos:

(A1F1) Fuentes fósil-intensivas

(A1T) Energía no-fósil

(A1B) Equilibrio a través de todas las fuentes

A2. La línea de historia A2 describe un panorama de un mundo muy heterogéneo. El tema subyacente es independencia y preservación de identidades locales. Los modelos de fertilidad a través de regiones convergen muy lentamente, y que da a lugar a la población en constante crecimiento. El desarrollo económico regional se orienta por el desarrollo económico per-cápita y el cambio tecnológico más lento que otras líneas de historia.

B1. La línea de historia B1 describe un panorama de un mundo convergente con la misma población global, que llega a su punto máximo a mediados de siglo y declina después, como en la historia de línea A1, pero con el rápido cambio en la estructuras económicas hacia una economía de servicio y de información con reducciones en intensidad material y la introducción de tecnologías limpias y recurso-eficientes. El énfasis está en soluciones globales a la sustentabilidad económica, social y ambiental, incluyendo una mejora en equidad, pero sin iniciativas adicionales del clima.

B2. La línea de historia B2 describe un panorama de un mundo en el cual el énfasis esté en soluciones locales a la sustentabilidad económica, social y ambiental. Es un mundo que continuamente aumenta su población global, con una tasa más baja que A2, de niveles intermedios de desarrollo económico, y de cambio tecnológico menos rápido y mas diverso que en las historias de línea B1 y A1. Mientras que el panorama también se orienta hacia la protección del medio ambiente y la equidad social, y se centra en niveles locales y regionales.

Un panorama ilustrativo fue elegido para cada uno de los seis grupos A1B, A1F1, A1T, A2, B1 y B2 del panorama. Todos se deben considerar igualmente sanos.

Los panoramas de SRES no incluyen iniciativas adicionales del clima, que significa que no hay panoramas incluidos que asuma explícitamente que protocola la puesta en práctica del convenio de base de Naciones Unidas sobre cambio del clima o las blancos de las emisiones de la Kyoto.

Fuente: Working Group 1-IPCC (2007).

La mitigación en el sector de la construcción contribuyó con 31% de las emisiones mundiales de CO₂ relacionadas con la energía en 1995, y estas emisiones han aumentado a un ritmo de 1.8% anual desde 1971. La tecnología de la construcción ha mantenido una trayectoria evolutiva con mejoras graduales en los últimos cinco años en la eficiencia energética de las ventanas, el alumbrado, los aparatos electrodomésticos, el aislamiento, la calefacción, la refrigeración y la climatización de los ambientes. También ha habido progresos continuos en los controles de la edificación, el diseño solar pasivo, el diseño integrado de edificios y la aplicación de sistemas fotovoltaicos en los edificios. Las emisiones de fluorocarbonos de los sistemas de refrigeración y climatización han ido disminuyendo con la eliminación gradual de los clorofluorocarbonos (CFC) (IPCC, 2007).

El uso y la emisión de fluorocarbonos han disminuido como consecuencia de la eliminación gradual de los CFC, y se prevé que seguirán disminuyendo a medida que se vayan eliminando los HCFC. Esto se debe principalmente a que, a medida que crecen las economías, los consumidores exigen más comodidades en términos de uso más intenso de aparatos electrodomésticos, viviendas más grandes y la modernización y expansión del sector comercial (IPCC, 2007).

La mitigación en el sector del transporte en 1995 aportó el 22% de las emisiones mundiales de dióxido de carbono relacionadas con la energía. A nivel mundial, las emisiones generadas por este sector están aumentando rápidamente, a un ritmo de aproximadamente 2.5% anual. Desde 1990, el mayor crecimiento se ha registrado en los países en desarrollo (7.3% anual en la región de Asia y el Pacífico), y de hecho está disminuyendo en los países con economías en transición, a un ritmo de 5.0% anual. Se han introducido vehículos híbridos (eléctricos y a gasolina) con carácter comercial, que permiten ahorrar entre 50% y 100% más de combustible que otros vehículos de tamaño similar para cuatro pasajeros (IPCC, 1996).

Los biocombustibles obtenidos de la madera, los cultivos orientados a la producción de energía y los desechos pueden también desempeñar un papel cada vez más importante en el sector del transporte, a medida que mejore la relación costo-eficacia de la hidrólisis enzimático de material celulósico a etanol, mientras tanto el biodiesel, con el respaldo de exenciones de impuestos, está ganando una mayor cuota de mercado en Europa.

En el sector industrial, la capacitación del personal, sistemas de estimulación, retroalimentación regular y documentación de prácticas existentes pueden ayudar a la eliminación de las barreras de organización industrial, a la reducción del uso energético y de las emisiones de GEI (IPCC, 2001).

La mitigación en el sector industrial fue difícil ya que las emisiones en el sector industrial representaron el 43% del carbono liberado en 1995. Las emisiones de carbono del sector industrial aumentaron a un ritmo de 1.5% anual entre 1971 y 1995, pero el crecimiento se tornó más lento a partir de 1990, con un índice de aumento de 0.4% anual. Las industrias siguen descubriendo procesos más eficientes desde el punto de vista energético y formas de reducir los GEI relacionados con los procesos industriales. Este es el único sector que ha registrado una disminución anual de las emisiones de carbono en los países miembros de la OCDE (-0.8% anual entre 1990 y 1995). La mayor reducción del CO₂ se observó en los países con economías en transición (-6.4% anual entre 1990 y 1995, cuando disminuyó la producción industrial total) (IPCC, 2002).

Hay algunos procesos específicos que no sólo emiten CO₂, sino también otros GEI sin contenido de CO₂. Los fabricantes de ácido atípico han reducido en gran medida sus emisiones de N₂O, y la industria del aluminio ha hecho progresos importantes en cuanto a disminuir la liberación de PFC (CF₄, C₂F₆) (IPCC, 1996).

La mitigación en el sector de la agricultura no es tan difícil de controlar ya que genera solamente el 4% de las emisiones mundiales de carbono derivadas del uso de la energía, pero más del 20% de las emisiones antropógenas de GEI (en MtCeq/año), principalmente de CH₄, N₂O y de carbono resultante de las actividades de desmonte de

terrenos. Se han registrado algunos progresos modestos en la eficiencia energética del sector agrícola y adelantos biotecnológicos relacionados con la producción vegetal y animal que podría generar mejoras adicionales, siempre y cuando puedan resolverse adecuadamente las preocupaciones relativas a los efectos perjudiciales para el medio ambiente, para ello se siguieron algunos puntos (IPCC, 2007):

- Aumentar la fijación de carbono en el suelo mediante el uso de técnicas de labranza conservativas y la reducción de la intensidad de uso de la tierra.
- Reducir el CH₄ mediante un manejo adecuado del riego de los arrozales, un mejor uso de los fertilizantes y una disminución de las emisiones de CH₄ entérico de animales rumiantes.
- Evitar las emisiones antropógenas de N₂O de origen agrícola (que en el caso de la agricultura superan las emisiones de carbono resultantes del uso de combustibles de origen fósil) mediante el uso de fertilizantes de liberación lenta, estiércol orgánico, inhibidores de la nitrificación y plantas leguminosas que permitan la aplicación de técnicas de ingeniería genética. Los niveles más altos de emisiones de N₂O se registran en China y los Estados Unidos, principalmente debido al uso de fertilizantes en suelos destinados al cultivo de arroz y otras tierras agrícolas. Se espera que para el año 2020 se disponga de más opciones para controlar las emisiones de N₂O de los suelos fertilizados, lo que permitirá a la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero.

En la mitigación de silvicultura y bosques se prevé la forestación, reforestación, manejo de bosques, disminución de la deforestación, manejo de los productos de la madera, uso de los productos forestales para producir bioenergía y reemplazar el uso de combustibles fósiles. Y en cuanto a la tecnología aplicada a este tipo de mitigación el objetivo es la

mejora de las especies de árboles para aumentar la producción de biomasa y el secuestro de carbono mediante la mejora de las tecnologías de control remoto para el análisis del secuestro potencial de carbono de la vegetación/suelo y elaboración de mapas de usos del suelo (IPCC, 2001).

La mitigación en el sector de desechos ha resultado complicada ya que se ha venido registrando un aumento en la utilización de CH₄ de vertederos y lechos carboníferos. El uso de gas de vertederos para producir calor y energía eléctrica también está aumentando debido a la existencia de mandatos normativos en países como Alemania, Suiza, la Unión Europea y los EE.UU. Los costos de recuperación de metano son altos y solo es la mitad de los basureros de éstos países de donde se obtiene el CH₄ (IPCC, 2002).

Para mitigar esto se planea la recuperación del metano de basureros, incineración de desechos con recuperación de energía, compostación del desecho orgánico, tratamiento controlado de aguas residuales, reciclaje y minimización de desechos. Y aplicar tecnología como cubiertas y filtros biológicos para optimizar la oxidación del CH₄.

La mitigación en el sector de energía es el más difícil de controlar porque los combustibles de origen fósil continúan dominando la producción de calor y energía eléctrica. La generación de electricidad representa 2,100 MtC por año o el 37.5% de las emisiones mundiales de carbono¹⁰. Los escenarios de referencia iniciales que no incluyen políticas relativas a la emisión de carbono proyectan emisiones de 3,500 y 4,000 MtCeq para el año 2010 y 2020 respectivamente. En el sector de la energía eléctrica, las turbinas de gas de ciclo combinado de bajo costo con una eficiencia de conversión

cercana al 60% en el caso del último modelo se han convertido en la principal opción de las nuevas centrales de energía eléctrica en los lugares en que se dispone de un suministro suficiente y una infraestructura adecuada de gas natural. Las tecnologías de carbón avanzadas basadas en diseños de ciclo combinado de gasificación integrada o supercríticos tienen potencialmente la capacidad de reducir las emisiones a un costo modesto mediante el logro de una mayor eficiencia (IPCC, 2007).

Una importante fuente de energía son las turbinas eólicas, cuyo índice de crecimiento mundial ha superado el 25% anualmente, y que en el año 2000 superó los 13 GW (giga watts) de capacidad instalada. Otras fuentes de energía renovables, como la energía solar y la biomasa, siguen creciendo a medida que bajan los costos, pero la contribución total de las fuentes de energía renovables no hidroeléctricas a nivel mundial sigue siendo inferior al 2% (IPCC, 2001).

Se prevé que las turbinas de gas de ciclo combinado serán las principales proveedoras de energía de aquí al año 2020 en todo el mundo y serán un fuerte competidor para desplazar a las nuevas centrales eléctricas de carbón en los lugares en que sea posible obtener fuentes adicionales de gas. La energía nuclear puede reducir las emisiones si se torna políticamente aceptable, ya que puede reemplazar tanto al carbón como al gas en la producción de electricidad. La biomasa, obtenida principalmente de los desechos y de los subproductos de la agricultura y la silvicultura, y la energía eólica también son capaces de contribuir en gran medida a la mitigación para el año 2020. La energía hidroeléctrica es una tecnología establecida y hay otras posibilidades, además de las previstas, de que contribuya a reducir las emisiones de CO₂ equivalente (IPCC, 2002).

La mitigación antrópica podría ser la base de la solución, sustentándose en una educación y cultura de cambio de malos hábitos que hemos llevado al extremo, como la deforestación y energía mal gastada, a tal grado que ya somos una especie amenazada (decretado por la ONU en 2007).

Por ello, los cambios en el estilo de vida pueden reducir las emisiones de GEI. Los cambios en el estilo de vida y patrones de consumo que enfatizan la conservación de recursos pueden contribuir al desarrollo de una economía con bajo contenido de carbono que es equitativo y sustentable (IPCC, 2007). Los programas de educación y capacitación pueden eliminar las barreras de la aceptación en el mercado de la eficiencia energética, específicamente combinados con otras mediadas (IPCC, 2001).

Cambios en el comportamiento de los inquilinos, patrones culturales, opciones del consumidor y uso de tecnología pueden reducir considerablemente las emisiones de CO₂ relativas al uso energético en edificios (IPCC, 2001). Un buen servicio de transporte urbano, que incluya la planificación urbana (que puede reducir la demanda de viajes) y la provisión de información y técnicas educativas (que pueden reducir el uso de automóviles y provocar un estilo de conducción eficaz) puede apoyarnos a la mitigación de los GEI (IPCC, 2007).

La mitigación a largo plazo se concentra en la reducción de los Gases Efecto Invernadero (GEI), esto se proyecta con la aportación de diferentes tecnologías para su estabilización. La búsqueda de la eficiencia de energía desempeña el papel principal en el proceso de cambio de energías alternativas para la no emisión de GEI. El uso de las

llamadas energías renovables tales como bioenergía, en donde se usa bajo carbono, podría contribuir a la mitigación de CO₂ al igual que la energía nuclear (IPCC, 2007).

Para tener una energía totalmente limpia se tiene que invertir en tecnología para romper con las barreras que obstaculizan el desarrollo, adquisición, despliegue y difusión de las mismas, ya que la fragilidad del propio clima, constituye una barrera natural de los inversionistas. Esto limita significativamente las oportunidades de alcanzar bajos niveles de emisiones de GEI que se pretenden en el Mundo (IPCC, 2007).

3.2. Mitigación en las tierras y ecosistemas terrestres (secuestro de carbono).

Los bosques, las tierras agrícolas y otros ecosistemas terrestres albergan un potencial de mitigación importante, aunque a menudo provisional. La conservación y la captación de carbono permiten ganar tiempo mientras se perfeccionan y aplican otras opciones. En el IPCC se estima que entre 60 y 87 GtC podrían conservarse y ser captadas por los bosques para el año 2050, y que otras 23 a 44 GtC podrían ser captadas por suelos agrícolas. La evaluación actual del potencial de las opciones de mitigación biológica es del orden de 100 GtC (acumuladas) para el año 2050, que equivale a un porcentaje de entre 10% y 20% de las emisiones proyectadas de los combustibles de origen fósil durante ese período. En esta sección se evalúan las medidas de mitigación biológica en los ecosistemas terrestres, y se centra la atención en el potencial de mitigación, las limitaciones ecológicas y ambientales, la economía y las consideraciones sociales. También se analizan brevemente las llamadas opciones de geoingeniería (IPCC, 2007).

El aumento de los depósitos de carbono mediante la gestión de los ecosistemas terrestres puede compensar sólo parcialmente las emisiones resultantes de los

combustibles de origen fósil. Además, el aumento de las reservas de carbono puede entrañar un mayor riesgo de aumento de las emisiones de CO₂ en el futuro, si dejan de aplicarse las prácticas de conservación del carbono. Si se suspenden las medidas de control de los incendios forestales, o se vuelve a las prácticas de labranza intensiva en la agricultura, puede perderse rápidamente al menos una parte del carbono acumulado en los años anteriores. En cambio, si se utiliza la biomasa como combustible o la leña para sustituir materiales más intensivos en la producción de energía se pueden obtener beneficios permanentes en términos de mitigación de las emisiones de carbono. Es útil evaluar las oportunidades de captación por los suelos junto con las estrategias de reducción de las emisiones, ya que es probable que sea necesario aplicar ambos criterios para controlar los niveles de CO₂ atmosférico (IPCC, 2007).

En la mayoría de los ecosistemas, los reservorios de carbono se acercarán en definitiva a un nivel máximo. La cantidad total de carbono almacenado, o de emisiones de carbono evitadas en virtud de un proyecto de gestión forestal en un momento determinado, depende de las prácticas de gestión específicas. Un ecosistema que haya perdido gran parte de su carbono a causa de acontecimientos pasados puede tener un alto índice potencial de acumulación de carbono, mientras que un ecosistema con un gran depósito de carbono tiende a tener un índice bajo de captación de carbono. A medida que los ecosistemas se acercan en determinado momento a su máximo nivel de depósito de carbono, la absorción (es decir, el índice de cambio del depósito) disminuye. Aunque tanto el índice de secuestro como el depósito de carbono pueden ser relativamente altos en algunos períodos, no pueden llegar a maximizarse en forma simultánea (IPCC, 2007).

Los cambios mundiales futuros repercutirán en la eficacia de las estrategias de mitigación del carbono y la seguridad de los depósitos ampliados de carbono, pero los impactos de estos cambios variarán de acuerdo con la región geográfica, el tipo de ecosistema y la capacidad de adaptación local. Por ejemplo; el aumento del CO₂ atmosférico, los cambios climáticos, la modificación de los ciclos de los nutrientes y las alteraciones de los regímenes (ya se trate de perturbaciones inducidas por factores naturales o por el ser humano) pueden tener efectos negativos o positivos en los depósitos de carbono de los ecosistemas terrestres.

Las estadísticas de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) y la Comisión Económica para Europa (CEPE) de las Naciones Unidas sugieren que el valor medio del aumento neto anual superó la tala de madera en los bosques boreales y templados gestionados a principios del decenio de 1990 (FAO, 2000). Por ejemplo, las reservas de carbono en forma de biomasa de árboles vivos han aumentado en 0.17 GtC/año en los EE.UU. y 0,11 GtC/año en Europa Occidental, absorbiendo alrededor de 10% de las emisiones mundiales de CO₂ de origen fósil en ese período.

En algunos países tropicales, la pérdida neta media de las reservas de carbono de los bosques continúa, si bien el índice de deforestación puede haber disminuido levemente durante el último decenio. En las tierras agrícolas se dispone hoy en día de opciones para recuperar parcialmente el carbono perdido durante la conversión de bosques o tierras de pastizales (IPCC, 2007).

A menudo se pueden adoptar medidas en el ámbito de la forestación, la agricultura y otros usos de la tierra para permitir la mitigación del carbono y, al mismo tiempo, promover también otras metas sociales, económicas y ambientales. La mitigación del carbono puede añadir valor a la ordenación del territorio y el desarrollo rural y generar ingresos adicionales. Las soluciones y los objetivos locales pueden adaptarse a las prioridades del desarrollo sostenible en los planos nacional, regional y mundial (IPCC, 2007).

Los impactos ambientales, económicos y sociales acumulados podrían evaluarse en proyectos individuales y también desde una perspectiva más amplia, nacional e internacional. Una cuestión importante es la “fuga” (o escape) un depósito de carbono ampliado o conservado en un lugar, que provoca un aumento de las emisiones en todos los demás lugares. La aceptación social a nivel local, nacional y mundial también puede influir en la eficacia de la aplicación de las políticas de mitigación (IPCC, 2007).

3.3. Mitigación del cambio climático en México.

La mitigación por medio de los recursos naturales en México presenta condiciones naturales muy propicias. Aproximadamente el 25% de la superficie del país (50 millones de hectáreas) está cubierta por bosques y selvas (ENAC, 2000).

Se estima que el carbono almacenado en estos ecosistemas alcanza 8,600 millones de toneladas, cantidad 20% superior a las emisiones totales anuales de tipo antropogénico de bióxido de carbono en nuestro planeta (Masera, 1997).

Existen ocho medidas en las que se pueden clasificar las acciones para la mitigación de gases de efecto invernadero en el sector de recursos naturales (ENAC, 2000) como se muestra a continuación:

- Incremento de la captura de bióxido de carbono y de otros gases de efecto invernadero.
- Conservación del carbono fijado en la vegetación forestal y en el suelo.
- Sustitución del carbono mediante el fomento de fuentes de energía y productos que desplacen o reduzcan la utilización de combustibles fósiles.
- Restaurar terrenos estratégicamente seleccionados que hayan sido afectados por desmontes, incendios o plagas, con el objeto de recuperar los ciclos biológicos, a partir de especies forestales adecuadas y útiles para su futuro aprovechamiento.
- Conservar la frontera forestal mediante el impulso a proyectos de plantaciones agroforestales que impliquen la integración y el equilibrio de las prácticas silvícolas y agropecuarias.
- Apoyar la forestación y reforestación en zonas urbanas y suburbanas.
- Apoyar a los productores agropecuarios de bajos ingresos en actividades de forestación de predios agrícolas y ganaderos con especies nativas de alto valor comercial.
- Contribuir a la restauración y conservación de la biodiversidad en áreas naturales protegidas.

La mitigación en la agricultura en México maneja diversos mecanismos con fines específicamente productivos, que además contribuyen directa o indirectamente a la mitigación de gases de efecto invernadero mediante la (ENAC, 2000):

1. Reducción de emisiones de CO2 e incremento de sumideros de carbono:

- Mejorar los sistemas agropecuarios que usan fuego, eliminando -en la medida de lo posible las prácticas riesgosas para el medio ambiente.
- Utilizar tecnologías acordes con las características culturales y socioeconómicas de los productores rurales.
- Reconvertir las tierras agrícolas excedentes a ecosistemas naturales.
- Procurar la implementación de la labranza mínima.
- Lograr mayor rendimiento de los restos de las cosechas.
- Propiciar los cultivos perennes, incluyendo la agrosilvicultura.

2. Reducción de emisiones de metano:

- La compra de semilla, material vegetal e implementos necesarios para el establecimiento y/o rehabilitación de praderas y pastizales.
- La adquisición e instalación de materiales para cercos, tanto convencionales como eléctricos, que permitan la extensión de la superficie dedicada al pastoreo y evitar la invasión de zonas boscosas.
- El establecimiento de equipos de bombeo para pozos de abrevadero, líneas de conducción, corrales de manejo, etc.
- El otorgamiento de asistencia técnica.

3. Reducción del óxido nítrico:

- El objetivo central incrementar la productividad de las superficies bajo riego, partiendo de proyectos que incluyen la instalación de sistemas de fertirrigación que permitan la aplicación del agua y de los fertilizantes en forma eficiente. Mediante este programa se apoya la tecnificación del riego con un presupuesto determinado a nivel estatal y de acuerdo con las necesidades propias de cada entidad federativa.

La mitigación en el sector energético en México establece medidas para disminuir los gases efecto invernadero ocasionado por la quema de combustibles fósiles (ENAC, 2000):

- Incrementar la eficiencia de aprovechamiento de los combustibles fósiles.
- Emplear combustibles fósiles con menor contenido de carbono, como el gas natural.
- Descarbonizar los gases de escape.
- Almacenar el bióxido de carbono.
- Promover el uso de fuentes de energía renovable.

La mitigación en la industria mexicana que realiza acciones para mejorar la calidad del aire y reducir los impactos que inciden sobre el cambio climático, se pueden identificar dos grandes vertientes:

- Acciones cuya meta es la reducción de emisiones, particularmente las que se refieren a programas de uso eficiente de recursos naturales renovables y no renovables.
- Adaptación de equipos anticontaminantes y de tecnologías limpias.

La mitigación del desarrollo urbano y asentamientos humanos en México, tiene retos que contribuyan a la mitigación de gases de efecto invernadero (ENAC, 2000). Entre éstos se vislumbran los siguientes:

- Incorporar en la evaluación de políticas de población y de desarrollo urbano, criterios explícitos de prevención y de adaptación ante la vulnerabilidad frente al cambio climático.

- Fortalecer la coordinación entre entidades y dependencias federales, así como entre los diferentes órdenes de gobierno, con el fin de que las inversiones públicas y privadas en infraestructura y equipamiento urbano consideren los efectos sobre el clima.
- Fortalecer la incorporación de criterios ambientales en las actualizaciones de la legislación federal, estatal y municipal relativa a los asentamientos humanos y a los ordenamientos territorial y ecológico.
- Promover en las ciudades y centros de población, mejores y mayores condiciones de seguridad ante ciclones, sequías, incendios e incluso ante eventuales riesgos de origen antropogénico, como medida de adaptación ante el cambio climático.
- Promover la investigación y el uso de tecnologías limpias en los sectores industrial, comercial, de vivienda y de transporte urbano, con el propósito de adquirir prácticas de alta eficiencia energética y estimular el uso de energías alternativas de acuerdo con las diferentes regiones del país.
- Continuar impulsando la planeación del desarrollo urbano, como una adecuada forma de organización del crecimiento sustentable de la sociedad.
- Coadyuvar para mejorar los niveles de bienestar en los asentamientos humanos rurales y evitar la migración de la población a las zonas urbanas.
- Promover que todas las ciudades estratégicas y todas las entidades del país que cuenten con órganos de participación ciudadana, se involucren en el proceso de conocimiento y mitigación de los efectos del cambio climático.
- Promover una adecuada organización de los usos del suelo.
- Promover la actividad agroforestal, como base de crecimiento y sustento de los centros de población urbana.

Las estrategias anteriores se verán reforzadas con los resultados alcanzados mediante el desarrollo de las líneas de investigación y de las acciones de difusión de información, así como de la asesoría técnica que se propone en esta estrategia nacional.

La mitigación en el sector del transporte en México ha logrado que los vehículos automotores que consumen gasolina sin plomo y diesel con menor contenido de azufre, disminuyan sustancialmente la emisión de contaminantes a la atmósfera (ENAC, 2000).

También, se han tomado otras medidas en el país en la infraestructura carretera como son:

- a) Fortalecimiento del programa de conservación de carreteras, que consiste en realizar obras de repavimentación y ampliación de algunos tramos de la red federal, así como la construcción de terceros carriles, entronques y obras complementarias para evitar congestionamientos.
- b) Construcción de libramientos y accesos de conexión de las carreteras con la vialidad urbana, puertos marítimos y enlaces fronterizos para mejorar la continuidad del tránsito interurbano.
- c) Impulso al desarrollo de la red carretera con una importante participación del sector privado.
- d) Reducción de cuotas -acordada en 1995 por la SCT, los concesionarios y las autoridades fiscales- en las 28 autopistas con las tarifas más elevadas, con el fin de aprovechar mejor la infraestructura desarrollada, así como para incentivar el uso de

las carreteras que permiten un tránsito más rápido y económico en términos de consumo de combustible y desgaste de los vehículos.

e) En 1997 se acordó una reducción del 35% en las tarifas de las autopistas de cuota y se entablaron conversaciones con las empresas de transporte de carga para exhortarlos a utilizar más intensamente estas vías de comunicación. A la fecha esta medida ha redundado en un incremento del 60% en este segmento y del 33% en el aforo total vehicular de estas autopistas.

f) Fomento de la participación activa en la formulación de un programa específico de mantenimiento y conservación de la infraestructura carretera que contribuya a la optimización de combustibles, y por lo tanto, a la reducción de emisiones contaminantes.

g) Promoción de acciones interinstitucionales con las Secretarías de Energía y de Desarrollo Social, en particular con esta última, para la definición de programas específicos que permitan vincular los sistemas de planeación del desarrollo de los centros urbanos con el mantenimiento, conservación, diseño, construcción y ampliación de la infraestructura carretera.

También se han adoptado otras medidas que favorecen la preservación del equilibrio ecológico en la protección del medio ambiente teniendo injerencia en el sector del transporte, como son:

- Llevar a cabo estudios de impacto ambiental para mitigar y controlar los efectos de los proyectos carreteros sobre el entorno natural.
- Asegurar que las líneas de acción necesarias para fortalecer la capacidad institucional de planeación de los programas carreteros sean útiles para

mejorar las condiciones ambientales y contribuyan a la disminución de emisiones de contaminantes a la atmósfera.

- El mejoramiento de las condiciones geométricas de las carreteras, con especial atención en la localización y disminución de puntos conflictivos, acotamientos, pendientes pronunciadas y curvas cerradas.
- La construcción de carriles de ascenso en tramos de topografía difícil que muestren elevados volúmenes de tránsito.
- La mejora del entorno ecológico de los caminos a través de la reforestación y de la estabilización de los taludes y terraplén mediante terraceo, pastización y arborización.
- La continuidad a la circulación de largo itinerario mediante la construcción de libramientos y accesos eficientes, cuando los volúmenes de tránsito así lo justifiquen.
- El desarrollo de proyectos que propicien una mejor articulación intermodal de la infraestructura carretera.
- Una oferta de tarifas de peaje más bajas.
- El establecimiento de convenios tarifarios por uso frecuente, temporada, tipo de usuario y condiciones regionales.

Otras medidas relacionadas con el transporte son el marítimo y puertos y para su mitigación se establecen los siguientes criterios:

- Formulación de nuevas Normas Oficiales Mexicanas en materia portuaria, especialmente las relacionadas con el control de la contaminación en los puertos.
- Desarrollo del transporte multimodal, mediante la promoción de una mayor participación de las empresas navieras para mejorar el control de los

movimientos de carga desde su origen hasta su destino y hacer más eficiente el uso de combustibles.

- Desarrollo de proyectos de infraestructura que permitan un enlace eficiente entre los puertos, las carreteras y los ferrocarriles.
- Promoción conjunta de la organización de servicios integrados de transporte multimodal entre las Administradoras Portuarias Integrales, las empresas de transporte marítimo y terrestre, los prestadores de servicios portuarios y los principales usuarios de los puertos;
- Promoción de inversiones privadas, tanto nacionales como extranjeras, para favorecer el establecimiento de industrias y servicios que propicien el desarrollo regional.
- Introducción de nuevas tecnologías que contribuyan al reemplazo de equipos obsoletos.
- Cooperación internacional, particularmente entre los países del Mecanismo de Cooperación Económica Asia-Pacífico (APEC), para buscar los medios adecuados que les permitan disponer de un sistema de transporte multimodal integrado, eficiente, seguro y competitivo, para beneficio del desarrollo de sus respectivas economías.

3.4. Adaptación al cambio climático.

Representa nuevos riesgos que con frecuencia van más allá de la experiencia que pueda existir, tales como los impactos relativos a la sequía, las olas de calor, el retroceso acelerado de los glaciares y la intensidad de los huracanes (ENAC, 2000). A continuación se presentan algunas adaptaciones a los cambios climáticos observados:

- Drenaje parcial del lago glacial Tsho Rolpa (Nepal).
- Cambios en las estrategias de sustento como respuesta al deshielo del permafrost por parte de los Inuit, en Nunavut (Canadá).
- Mayor uso de la fabricación de nieve artificial por la industria alpina de esquí (Europa, Australia y América del Norte).
- Defensas costeras (Maldivas y los Países Bajos).
- Gestión de recursos hídricos (Australia).
- Respuestas de los gobiernos a las olas de calor (algunos países de Europa).

Todas las adaptaciones documentadas han sido impuestas por los riesgos climáticos y generan un costo real y una reducción del bienestar en primera instancia.

Las adaptaciones en materia de cambio climático a nivel global y, aunque se ha avanzado en algunos rubros como el de la producción de energías alternas como biodiesel, energía solar, energía eólica, etcétera; también quedan todavía considerables lagunas en los conocimientos sobre exposición, sensibilidad, adaptabilidad y vulnerabilidad de sistemas físicos, ecológicos y sociales al cambio climático.

Los avances en estas esferas son prioridades para aumentar la comprensión de las posibles consecuencias del cambio climático para la sociedad humana y el mundo natural, así como para apoyar los análisis de las respuestas posibles.

- En la exposición de modelos a estímulos climático, se necesitan avances en los métodos para hacer proyecciones de los estímulos climáticos como el uso de gases de efecto invernadero y otras tensiones no climáticas, como la pérdida biodiversidad (que también afectan al cambio del clima) a escalas espaciales más precisas, a fin de mejorar la comprensión de las posibles consecuencias del cambio climático, incluidas las diferencias regionales, y los estímulos a los que probablemente tengan que adaptarse los sistemas. La labor en esta esfera debe aprovechar los resultados de las investigaciones sobre la sensibilidad, adaptabilidad y vulnerabilidad de los sistemas a fin de identificar los tipos de estímulos climáticos y tensiones no climáticas que más afectan a los sistemas. Entre las prioridades figuran los métodos para investigar posibles cambios en la frecuencia e intensidad de sucesos climáticos extremos, la variabilidad del clima, y los cambios abruptos a gran escala en el sistema de la Tierra, como la desaceleración o interrupción de la circulación termohalina de los océanos. También es preciso aumentar la comprensión de la forma en que los factores sociales y económicos influyen en el grado de exposición de las diferentes poblaciones (IPCC, 2007).
- La sensibilidad que se tenga a los estímulos climáticos proyectados todavía no está suficientemente cuantificada para muchos sistemas naturales y humanos. Las respuestas de los sistemas al cambio climático incluirán fuertes respuestas no

lineales, discontinuas o abruptas. Respuestas que varían con el tiempo, y complejas interacciones con otros sistemas (IPCC, 2007).

Ahora bien, la cuantificación de la evolución, umbrales e interacciones de las respuestas de los sistemas está insuficientemente desarrollada respecto de muchos sistemas. Es preciso desarrollar y mejorar modelos dinámicos, basados en los procesos, de los sistemas naturales, sociales y económicos; estimar parámetros modelo de las respuestas de los sistemas a las variables climáticas; y validar los resultados de las simulaciones con modelos.

- Con la Adaptabilidad al cambio climático se han logrado progresos en la investigación de medidas. No obstante, hay que seguir trabajando para comprender mejor la aplicabilidad al cambio climático de las experiencias de adaptación con variabilidad climática. Utilizar esta información para elaborar estimaciones de base empírica de la eficacia y los costos de la adaptación, así como desarrollar modelos de predicción del comportamiento de adaptación que tengan en cuenta la adopción de decisiones en situaciones de incertidumbre. También hay que trabajar para comprender mejor los factores determinantes de la capacidad de adaptación y utilizar esta información para aumentar la comprensión de las diferencias en esta capacidad entre las regiones, las naciones y los grupos socioeconómicos, además de la forma en que la capacidad puede cambiar a lo largo del tiempo (IPCC, 2007).
- Las evaluaciones de la vulnerabilidad al cambio climático son en gran parte cualitativas y se refieren a las fuentes y el carácter de la vulnerabilidad. Se necesitan más trabajos para integrar información sobre el grado de exposición, la

sensibilidad y la adaptabilidad a fin de proporcionar información más detallada y cuantitativa sobre los posibles impactos del cambio climático. El grado de vulnerabilidad relativo es distinto en las diferentes regiones, naciones y grupos socioeconómicos (IPCC, 2007).

- La incertidumbre que existe respecto al manejo políticas que existen alrededor del cambio climático, en la aplicación de métodos para tratar los problemas y particularmente lo respecta al suministro de información científica para la adopción de decisiones.
- La resiliencia que existe del tema de la biodiversidad respecto al cambio climático se define como la capacidad de un ecosistema de absorber perturbaciones y reorganizarse mientras está experimentando o tras experimentar cambios, de forma tal que pueda mantener básicamente la misma estructura, funcionamiento y mecanismos de auto-regulación (Walker, et al., 2004). La presencia de diferentes grupos funcionales y las interacciones entre ellos son consideradas como una de las posibles fuentes de resiliencia ecológica (Peterson, 1998). En materia de biodiversidad la resiliencia puede tardar varios cientos de años, ya que en forzamiento radiativo constante y las perturbaciones antropicas no permiten una recuperación total de la biodiversidad.

3.5. Soluciones para reducir el impacto ambiental del hombre en el planeta (Gore 2007).

A continuación señalo algunas de las posibles soluciones planteadas por el ex-vicepresidente de los Estados Unidos Albert Gore y tome a éste personaje porque y a pesar de que no es un científico sobre el tema de cambio climático, sí se ha convertido en un líder de opinión importante a nivel mundial y por ese motivo incluyo sus ideas las cuales son expuestas en su página de internet, así como en su libro y película producida y protagonizada por él:

- Sustituya una bombilla incandescente regular por una de uso fluorescente compacto, ya que utiliza el 60% (cfl) CFLs menos energía que un bulbo regular. Este interruptor simple ahorrará cerca de 300 libras de bióxido de carbono al año.
- Baje su termóstato 2°C en verano y súbalo 2°C en invierno y usted podría ahorrar alrededor de 2.000 libras de bióxido de carbono al año con este ajuste simple.
- Limpie o sustituya los filtros en su horno y el acondicionador de aire que limpia un filtro de aire sucio, puede ahorrar 350 libras de bióxido de carbono al año.
- Elija las aplicaciones eficientes de la energía al hacer nuevas compras y busque la etiqueta de la estrella de la energía en aplicaciones nuevas para elegir los modelos más eficientes.
- Envuelva su calentador de agua con una cinta aluminizada de aislamiento que usted ahorrará 1.000 libras de bióxido de carbono al año con esta acción. Usted puede ahorrar otras 550 libras por año fijando el termóstato no más arriba que 120 grados de Fahrenheit.

- Utilice un tendedero en vez de un secador siempre que sea posible, así usted puede ahorrar 700 libras de bióxido de carbono cuando usted ventila sus ropas por 6 meses en el año.
- Desenchufe los equipos electrónicos del contacto cuando usted no los está utilizando, ya que los equipos tienen sistemas electrónicos que aun cuando están apagados, cargadores del teléfono celular y las televisiones utilizan energía. ¡De hecho, haciendo este sencillo procedimiento se ahorra un 5% de consumo de energía doméstica total y ahorra 18 millones de toneladas de carbón en la atmósfera cada año!
- Si cada persona recicla se puede ahorrar 2.400 libras de bióxido de carbono al año, que es la mitad de la basura que su casa genera.
- Compre productos de papel reciclados, ya que ahorra de un 70 a 90% de energía para hacer el papel reciclado y previene la pérdida de bosques mundiales.
- Plante un árbol, el solo árbol absorberá una tonelada de bióxido de carbono sobre su curso de vida. La cortina proporcionada por los árboles puede también reducir su cuenta del aire acondicionado de 10 a 15%.
- Busque los mercados locales de los agricultores ya que ayuda a reducir la cantidad de energía requerida para producir y transportar el alimento en un 5%.
- Compre alimentos orgánicos ya que los suelos orgánicos capturan y almacenan el bióxido de carbono en niveles mucho más altos que los suelos de granjas convencionales. ¡Si creciéramos todo nuestro maíz y sojas orgánico, quitaríamos 580 mil millones libras de bióxido de carbono de la atmósfera!
- Evite los productos muy empaquetados ya que usted puede ahorrar 1.200 libras de bióxido de carbono y reduce su basura en un 10%.

- Coma menos carne, el metano es el segundo gas significativo del efecto invernadero y las vacas son uno de los emisores más grandes del metano. Su dieta herbosa y sus estómagos múltiples los hacen producir el metano, que exhalan con cada respiración.
- Reduzca el número de millas que usted conduce, caminando, en bicicleta, o tomando el transporte público en donde sea posible, así evita apenas 10 millas de conducir cada semana y eliminaría cerca de 500 libras de emisiones del bióxido de carbono al año.
- Mantenga su coche alineado, el mantenimiento mejora la eficacia de combustible y reduce emisiones. Con el 1% de los dueños de autos que mantuvieran correctamente sus coches, mil millones libras de bióxido de carbono se eliminarían de la atmósfera.
- Verifique sus llantas semanalmente para cerciorarse de que sea la presión apropiada, correctamente inflada puede mejorar el kilometraje del combustible más de 3%. Puesto que cada galón de gasolina ahorra 20 libras de bióxido de carbono de la atmósfera (Gore, 2006).

Para concluir, en una conferencia en el Colegio Nacional impartida por el Dr. Sarukán y el Dr. Mario Molina mencionan que las alteraciones a la biodiversidad son muy fuertes y que solo las especies más fuertes sobrevivirán al cambio tan radical de la temperatura que estamos viviendo. Tenemos precipitaciones cada vez más intensas, se pierde cada vez más la estacionalidad, mencionando que los bosques desplazan al norte, pero no todos los bosques logran subsistir, cambia la fenología de las aves, la población de abejas está bajando considerablemente y con ello no tendremos polinización natural de las especies vegetales, ecosistemas más vulnerables, especies de insectos que pueden propagar

enfermedades dañinas para el hombre. Esto lo ratificó el ex-vicepresidente de los Estados Unidos de América, Albert Gore en su conferencia en México en Julio de 2007, en donde también explicó, que en la franja ecuatorial del planeta, la temperatura subirá 1°C y gradualmente en las latitudes hasta llegar a los polos en donde se experimentará un aumento de 7°C para el año 2050.

DISCUSIÓN.

Es muy difícil establecer si es el cambio climático es la causa de las alteraciones en la biodiversidad o viceversa, ésto debido a que las dos se encuentran íntimamente relacionadas. Estos dos factores se han venido dando desde la creación de la Tierra en forma natural, pero desde la aparición del hombre en el planeta se ha incrementado de forma drástica a partir del crecimiento de la población y su industrialización. Pero no ha sido si no hasta 1995 cuando el premio Nobel de Química, Mario Molina dio a conocer la problemática de la consecuencia de la polución causada por el hombre. A partir de ese año se empezaron a plantear seriamente acciones que mitigan los efectos causados por el hombre en esta dinámica propia de la Tierra.

Sabemos que no podemos alterar el curso de la dinámica de la Tierra, pero si podemos ayudar a reducir el impacto ambiental no alterando a la biodiversidad y reduciendo factores antrópicos que influyan en el cambio climático.

Se sabe que el uso de combustibles fósiles es el que más ha alterado la dinámica atmosférica por alza en la producción de gases de efecto invernadero, junto con la deforestación de selvas y bosques que ha reducido la captura de carbono y la producción de oxígeno que es lo único que puede equilibrar la temperatura global.

CONCLUSIONES.

A pesar de ser el Panel Intergubernamental de Cambio Climático el organismo autorizado por la ONU para llevar a cabo el estudio, evaluación, interpretación y propuestas de solución al cambio climático; no han sido lo suficientemente certeros en sus análisis de evaluación. Esto debido a que los escenarios proyectados para el año 2050 están ocurriendo en el lapso 2005 – 2010.

Basado en estos datos, este estudio sostiene que uno de los problemas más importantes que enfrenta la humanidad es de vital importancia definir cuáles son sus causas, para así poder aminorar su impacto en la Tierra. Existen principalmente dos causas; las naturales y las antrópicas, en donde las dos tienen como factor común el contribuir a la emisión de gases efecto invernadero. Esto lo podemos observar en la variabilidad climática a través de los años. En la variabilidad climática se ha registrado un aumento gradual en la emisión de gases efecto invernadero y de la temperatura.

Dicho aumento inició a partir de la Revolución Industrial con el uso de combustibles fósiles para producir energía. Y ha ido de la mano con el crecimiento de la población mundial, esto se ha acentuado en los últimos años dando como resultado fenómenos atmosféricos y cambios que se han registrado en las diferentes especies animales y vegetales.

Existen un mayor número de causas naturales que antrópicas que son atribuibles al cambio climático; sin embargo, las causas antrópicas tienen mayor impacto sobre el aumento gradual de la temperatura. En las causas naturales como la actividad solar se le atribuye el aumento en la temperatura. En las causas antrópicas el uso excesivo de los

combustibles fósiles provoca la mayor emisión de gases efecto invernadero y por lo tanto la causa de la concentración de calor atmosférico, la alteración del albedo, el derretimiento de los polos, el aumento en los fenómenos atmosféricos y la variación de fenómenos externos como el Niño y la Niña.

Se sabe que las alteraciones de los fenómenos meteorológicos han sido alteradas por el hombre, desencadenando un efecto dominó sobre los elementos y factores del clima, en un mismo tiempo y espacio. Esto altera, en todo momento, ciclos tan importantes como los ciclos biogeoquímicos; poniendo en riesgo a todas las especies sobre la Tierra incluyendo a ser humano.

Es la biodiversidad la que se ve mayormente afectada debido al cambio climático; ya que éste afecta tanto a los elementos bióticos como abióticos.

El cambio en la biodiversidad provoca a su vez, alteraciones en los bienes y servicios que proporcionan los ecosistemas y que son esenciales para la supervivencia. La biodiversidad da servicios ambientales, monetarios, culturales, psicológicos, éticos y hasta religiosos que se ven alterados debido a la inadecuada explotación de los recursos naturales. Esto nos ha ido afectando de forma gradual ya que con el paso de los años la población ha ido en aumento mientras que los recursos han ido en decremento.

En México, en los últimos años, se han explotado de manera inadecuada tanto los mantos acuíferos como los recursos forestales; lo cual aunado al cambio en el uso de suelo ha provocando la pérdida de la cobertura vegetal y el agotamiento de recursos. Una consecuencia de esto ha sido la alteración de los sistemas marinos y terrestres. Esto

ha provocado nuevas enfermedades y problemas económicos a nivel estatal, nacional y mundial provocando así, el surgimiento de una nueva economía como es el uso de los bonos de carbono. Los que son emitidos por países megadiversos con recursos naturales protegidos y luego vendidos a países desarrollados en donde su economía no pueda dejar de producir productos y servicios. Estos bonos les permiten a dichos países emitir cierta cantidad de contaminantes a la atmosfera y están regulados por la ONU.

Estos problemas han provocado la proyección de cambios a futuro modelando estimaciones bajo diferentes escenarios, lo cuales nos ayudarán a sobrellevar los cambios en el uso de recursos naturales debido al cambio climático. Estas proyecciones no son muy alentadoras a menos que realicemos un cambio en el ritmo de vida del ser humano.

Para lograr la mitigación en el cambio climático se puede hablar de tres escenarios posibles basados en la reducción de emisiones de gases efecto invernadero, uso adecuado de los recursos naturales y uso de energías alternas.

Como primer punto debe existir un cambio dentro de los diferentes sectores económicos, el cual dependerá de cuanto pueden reducir la emisión de gases efecto invernadero cada uno. En el sector de construcción e industrial se propone adaptar las estructuras para la eliminación gradual de los clorofluorocarbonos y en el sector de transporte la eliminación de combustible fósil por el uso de biocombustibles. En el sector agrícola la propuesta es el uso de fertilizantes biotecnológicos y de liberación lenta para disminuir las emisiones de gases efecto invernadero. En el sector forestal la propuesta se basa en la reforestación y disminución de la deforestación. En cuanto a desechos se propone la

extracción de metano de basureros hacia el abierto y el tratamiento, reciclaje y minimización de desechos. En el sector energético se propone el uso de energías alternas como la solar, eólica y nuclear. Para la mitigación antrópica la solución propuesta se basa en una mejora en la educación y cultura de cambio de los malos hábitos en materia de medio ambiente y ecología. Una de las alternativas más viables es el secuestro de carbono. Este se prevé almacenándolo en el fondo del mar para evitar el efecto invernadero. Otra forma de secuestro de carbono es por medio de la reforestación que además ayuda a la emisión de oxígeno por medio de la fotosíntesis, pero también se sabe que al realizarse dicho proceso se libera un pequeño porcentaje de dióxido de carbono.

Ya que el cambio climático es un fenómeno inevitable al que solo podemos mitigar existe también la posibilidad de adaptarse a él. Esto se lograría mediante el estudio de sus posibles efectos y adelantándose a ellos; sin embargo, hasta hoy todas las adaptaciones se han llevado a cabo después de algún fenómeno meteorológico o físico sobre la Tierra. Esto está trayendo como consecuencia un mayor costo económico e impacto a las distintas regiones afectadas. Cabe mencionar, que después de cualquier tratado o protocolo se han tenido que hacer adaptaciones a los acuerdos para ganarle tiempo a los impactos ambientales; una prueba de ello es el surgimiento de los bonos de carbono, que no es otra cosa, que el comercio entre el país que conserva sus recursos naturales como bosques y selvas produciendo oxígeno (servicios ambientales) emitiendo así los bonos de carbono y el país que tiene una industria desarrollada y contamina ostensiblemente emitiendo gases tóxicos a la atmósfera compra estos bonos de carbono, que solo son derechos para seguir emitiendo gases de efecto invernadero a la atmósfera.

Llevando a cabo todos estos cambios, aún así, no se podrá mitigar el impacto al 100% ya que sufriremos las consecuencias a lo largo de las próximas generaciones. Se espera que la geografía de los continentes cambie drásticamente y que el cambio climático ocurra como se prevé en el escenario más adverso. El incremento en el nivel del mar es directamente proporcional al deshielo que ocurre en la Antártida y en Groenlandia y al incremento de temperatura en los Polos que se espera sea de hasta 7°C, para el año 2025 (Gore, 2006).

Muchas poblaciones tendrán que migrar a lugares más elevados con respecto al nivel del mar, ya que por consecuencia del deshielo de los Polos los niveles de los océanos se elevarán de 3 a 7 metros (Gore, 2006). A nivel geográfico se tendrán que redibujar los mapas y la cartografía de muchas partes del mundo.

REFERENCIAS.

- Achard F., H. Eva, et al. (1998). "Identification of Deforestation Hot Spot Areas in the Humid Tropics", TREES Publication Series B No.4, European Commission, Luxembourg.
- Aguilar-Contreras, et al. (2006). "Capital Natural y Capital Social". pp. 27.
- Aguilera, M. M. (1997). "Especies y biodiversidad. Interciencia", 22: 299-306.
- Almo-Labin, A., et al. (1998). "Carbonate preservation and climatic changes in the central Red Sea during the last 380 kyr as recorded by pteropods". Marine Micropaleontology.
- Alvarez, L. W. (1987). "Mass extinctions caused by large bolide impacts". Physics Today.
- Alverson, D. L., et al. (1994). "A global assessment of fisheries bycatch and discards". Fisheries Technical Report 339. FAO. Rome, Italy.
- Anon. (1985). *Tropical Forests: A Call for Action*, World Resources Institute, Washington, 3 volumes
- Anon. (1996). *World Resources: A Guide to the Global Environment 1996-97*, Oxford University Press.
- Ávila-Foucat, S. (2006). *Natural y Capital Social*, 2006. pp. 33.
- Barbadilla P. A. (1999). *La Biodiversidad a la luz de la evolución*.
- Barber D.C. (1999), Forcing of the cold event of 8,200 years ago by catastrophic drainage of Laurentide lakes, *Nature*.
- Becker, Dan. (1997). *Global Warming Central: Debate number three*.
<http://www.law.pace.edu>
- Benton, M. J. (2001). "Biodiversity on land and in the sea.", en *Geological Journal*.- 36(3-4): 2001.
- Black D. (1999). Eight centuries of North Atlantic Ocean Atmosphere Variability, *Science*.
- Boyle, T.J.B. y Boontawee, B. (1995). Measuring and monitoring biodiversity in tropical and temperate forest. Bogor; Center International Forestry Research, pp.395.
- Bray, D., et al. (2005). *Natural y Capital Social*, 2006. pp. 35.
- Brown, David and Kathrin Schreckenber. (1998). *Shifting Cultivators as Agents of Deforestation: Assessing the Evidence*, Natural Resource Perspective Number 29, April 1998, Overseas Development Institute, London
- Bryant, Dirk, et al. (1997). *The Last Frontier Forests - Ecosystems and Economies on the Edge*, World Resources Institute, Washington.
- Burke, L., et al. (2000). Pilot Analysis of Global Ecosystems. Coastal Ecosystems. WRI. Washington, D.C. 2000.
- Caballero, J. y J. Sarukhán. (1982). *Natural y Capital Social*, 2006. pp. 31.
- CBD (Convention on Biological Diversity) (2003). Interlinkages between biological diversity and climate change. Advice on the integration of biodiversity considerations into the implementation of the United Nations Framework Convention on Climate Change and its Kyoto Protocol. CBD Technical Series No. 10. Montreal. 2003.
- Chapin III, F. S. et al. (1996). The functional role of species in terrestrial systems. In *Global Change and Terrestrial Ecosystems* [Walker, B. and W. Steffen, (eds.)], Cambridge University Press, Cambridge, pp. 403-428
- Ciesla, W. M. (1995). *Climate change, forests and forest management: an overview*, Forestry Paper 126, Forest Resources Division, FAO, Rome, Italy.
- CNA (Comisión Nacional de Aguas) (2005). *Capital Natural y Capital Social*, 2006. pp. 29.
- CONABIO (Comisión Nacional para el conocimiento y uso de la Biodiversidad) (1998). *La diversidad biológica de México. Estudio de país*. México. 1998.
- Costanza, R., et al. (1997). The value of the world's ecosystem services and natural capital. . *Nature's Services*. Island Press, Washington, DC, 1997.
- Daily, G., (2001). "Species diversity and the scale of the landscape mosaic: do scales of movement and patch size affect diversity?.", en *Biological Conservation*.- 98 2001.
- Debinski, D. M. (1999). *Nature* 387: 253-260.
- Dinerstein, E. (1995). *Una evaluación del estado de conservación de las regiones terrestres de América Latina y el Caribe*. Fondo Mundial para la Naturaleza, Banco Mundial. Washington, DC. 1995.
- Dokken T. & Jansen E. (1999). Rapid changes in the mechanism of ocean convection during the last glacial period, *Nature*.

- ENAC (Estrategia Nacional de Acción Climática) (2000). INE-SEMARNAT.
- EPA (Environmental Protection Agency) (2002). Greenhouse Gases and Global Warming Potential Values. U.S.A. 2002.
- FAO (Food and Agriculture Organization) (1997). *State of the World's Forests 1997*, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy.
- FAO (Food and Agriculture Organization) (1998). *Statistical Databases*, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy.
- Fermín M. P. (1997). "Apuntes sobre Biodiversidad y Conservación de Insectos: Dilemas, Ficciones y ¿Soluciones?", en *Sociedad Entomológica Aragonesa, SEA*.- nº 20, Monográfico *Los Artrópodos y el Hombre* 1997.
- Fichefet T. (1994). A model study of the Atlantic thermohaline circulation during the last glacial maximum, *Nature*.
- Flores, O., (2004). Capital Natural y Capital Social, 2006. pp. 13.
- FAO (Food and Agriculture Organization) (1993). *Forest Resource Assessment 1990: Tropical Countries*, FAO Forestry Paper 112, Rome.
- FAO (Food and Agriculture Organization) (2001). *Global Forest resources assessment 2000*. Roma. 2001.
- Gaston, K. F. (1996). Species richness: measure and measurement. In: *Biodiversity, a biology of numbers and difference*. Blackwell Science, Cambridge, pp 77-113.
- Glatzmaier P. et al. (1996). "An anelastic evolutionary geodynamo simulation driven by compositional and thermal convection" .
- Goldsmith, E. y Henderson, C. (1997). *The Ecologist*, volumen 29 No. 2,
- Gómez L. y Galicia L. (2004). *Revista Ciencia y desarrollo* 2004.
- Gore, Albert. (2006). www.climatecrisis.net
- Hansen, Karl (1997). *Final Report: Draft Chapter 1*, Background Paper No. 1, World Commission on Forsts and Sustainable Development.
- Hendriks, C.A. et al. *Emission Reduction of Greenhouse Gases from the Cement Industry*. IEA Greenhouse Gas R&D Programme. 1998.
- Hernández Xolocotzi, E. (1993). Capital Natural y Capital Social, 2006. pp. 17.
- Houghton, J.T., et al. (1990). *Climate Change: The IPCC Scientific Assessment*. Cambridge University Press. pp. 365.
- Huston, M.A. (1994). *Biological Diversity: The Coexistence of Species on Changing Landscapes*. Cambridge, Cambridge University Press.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática) Dirección General de Geografía (ed.). 2005. Capital Natural y Capital Social, 2006. Pág. 23.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (1996) *Climate Change 1995: The Science of Climate Change*. Intergovernmental Panel on Climate Change; J.T. Houghton, L.G. Meira Filho, B.A. Callander, N. Harris, A. Kattenberg, and K. Maskell, eds.; Cambridge University Press. Cambridge, U.K.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2001) *Climate Change 2001: A Scientific Basis*, Intergovernmental Panel on Climate Change; J.T. Houghton, Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P.J. van der Linden, X. Dai, C.A. Johnson, and K. Maskell, eds.; Cambridge University Press. Cambridge, U.K.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (1996). *Revista Desarrollo sostenible*, número especial sobre cambio climático, segunda edición, agosto 1996.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2007) *Climate change and biodiversity*. Technical Paper. IPCC. 2007.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2001). *Climatic Change 2001: the scientific basis*. Cambridge University Press. United Kingdom. 2001.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2002). *Climate change and biodiversity*. Technical Paper V. IPCC. 2002.
- Kenya Wildlife Service (1995) <www.kws.org> (consultada en 1995). *Natural y Capital Social*, 2006. Pág. 41.
- Ledley, T. S., et al. (1999). *Climate Change and Greenhouse Gases*. EOS American Geophysical Union. 39:453. 1999.
- Lowe, J.J.; et al. (1994); *Canada's Forest Inventory 1991*, Information Report PI-X-115, Petawawa National Forestry Institute, Canadian Forest Service.
- Marlow J.R. et al., (2001), *Upwelling intensification as part of the Pliocene-Pleistocene climate transition*, *Science*.

- Martínez A., (1997). "Implementación conjunta en el Trópico y derechos de propiedad de los sumideros de Carbono". Revista Desarrollo sostenible, edición especial: Implementación conjunta: Convención de Cambio Climático, tercera edición, julio de 1997.
- Masera, O. R. (1997). Carbon emissions from mexican scenarios. *Climate change* 35: 265-295.
- Maunder, W. J., (1992). *Dictionary of Global Climate Change*, UCL Press Ltd.
- Meyers, N. (1992); *The Primary Source: Tropical Forests and Our Future*, W.W.Norton & Compant, London.
- Mittermeier, (1992). *Capital Natural y Capital Social*, 2006. Pág. 13.
- Mora U. J., (1993). Diversidad genética en Pejibaje II p.21-29 Edit. Univesidad de costa Rica.
- Morrill C. & R. Jacobsen, (2005). How widespread were climate anomalies 8200 years ago?, *Geophysical Research Letters*.
- NAI (National Astrobiology Institute) (2000) National Aeronautics and Space Administration- NASA Astrobiology Institute. E.E. U.U.
- NAS (National Academy Science) (2001). *Climate Change Science. An Analysis of some key questions*. National Academy Press. U.S.A. 2001.
- OCDE (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos) (2003). *Evaluación del Desempeño Ambiental en México*. Paris, Francia. 2003.
- OCDE (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos) (1998). *Towards Sustainable Development.Environmental Indicators*. Paris, France. 1998.
- Olsen, P. (1986). A 40 million year lake record of Early Mesozoic orbital forcing. *Science*.
- Olsen, P.E. & KENT, D.V. (1996). Milankovitch climate forcing in the tropics of Pangaea during the late Triassic. *Palaeogeography, palaeoclimatology, palaeoecology*.
- Organización Mundial de Turismo (2006) <www.world-tourism.org/> (consultada en abril de 2006). *Natural y Capital Social*, 2006. Pág. 39.
- Patin, S. (1999) *Environmental impact of offshore oil and gas industry*. Ecomonitor Publishing. New York. 1999.
- Pearce, David y D Moran. (1994). *The economic value of diversity*. The World Conservation Union. Londres, 1994.
- Peterson, G., (1998). Ecological resilience, biodiversity, and scale. *Ecosystems* 1: 6-18.
- Poore, D., (1989). *No Timber Without Trees: Sustainability in the Tropical Forest*, Earthscan Publicans, London.
- Quinn, T. R., (1991). A three million year integration of the Earth's orbit: *Astronomical Journal*.
- Ramamoorthy T.P.,(comps.) (1998). *Capital Natural y Capital Social*, 2006. Pág. 13.
- Reyes, J.C., J.G. Mead y K.V. Van Waerebeek, 1991. *Capital Natural y Capital Social*, 2006. Pág. 13.
- Ricklefs, R.E. y D. Schluter (editors). (1993). *Species Diversity in Ecological Communities:Historical and Geographical Perspectives*.Chicago,The University of Chicago Press, 414p.
- Robinson, S. G. (1993). Lithostratigraphic applications for magnetic susceptibility logging of deep sea sediments cores; examples from ODP, Leg 115. In E.A. Hailwood & R.B. Kidd editors. *High resolution stratigraphy*. Geological Society Special Publication.
- Santamaría F. J., (2001). *Cambio climático Revista Naturista*, N° 3: 170'172.
- Sargent, N.E., (1988). Redistribution of the Canadian boreal forest under a warmed climate, *Climatological Bulletin*, Vol 22(3), pp. 23-34.
- Saruhkán, José y R. Dirzo (compiladores) (1992). *México los retos de la biodiversidad*. Comisión Nacional para el Uso y Conocimiento de la Biodiversidad (Conabio). Mexico, 1992.
- Schaitza, E., (1998). unpublished personal communication, EMBRAPA - Florestas, Colombo, Brazil
- Schwartz, S.E. (1993). Does Fósil Combustión Lead to Global Warming? *Energy* 12: 1229-1248. 1993.
- Schwartz, M. W., (2000). Linking biodiversity to ecosystem function: implications for conservation ecology. *Oecologia* 122: 297-305.
- Schwarzacher, W. (1993). Cyclostratigraphy and the Milankovitch Theory. *Developments in Sedimentology*.
- Sear, C.B., et al., (1987). 'Global surface temperature responses to major volcanic eruptions', *Nature*, 330:365-367.

- SEMARNAT (Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales) (2002). Informe de la situación del medio ambiente en México. Compendio de Estadísticas Ambientales, 2002. Mexico. 2003.
- SEMARNAT-INE, (Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales – Instituto Nacional de Ecología) (2006). TERCERA COMUNICACIÓN NACIONAL ANTE LA CONVENCIÓN MARCO DE LAS NACIONES UNIDAS SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO. 2006.
- Simons, L., (1998). *Indonesia: Plague of Fires*, National Geographic Magazine, August 1998.
- Song and P. Richards (1996). "Seismological evidence for differential rotation of the Earth's inner core," *Nature*. (1996).
- Sunderlin, W. and Rodriguez, J. (1996). *Cattle, Broadleaf Forests, and the Agricultural Modernization Law of Honduras: The Case of Olancho*, Occasional Paper No.7, CIFOR, Indonesia.
- Tarasov L. & W.R.Peltier, (2005). Arctic freshwater forcing of the Younger Dryas cold reversal, *Nature*.
- Torres, R., (2004). Capital Natural y Capital Social, 2006. Pág. 25.
- Townsend, P. A., (2002). Future projections for Mexican faunas under global climate change scenarios. *Nature* 416: 626-629. 2002.
- UNEP (United Nations Environment Programme) (1995) *Global Biodiversity Assessment* (henceforth *Global Biodiversity Assessment*), chapter 3.
- Villaseñor, J.L. (2003). Capital Natural y Capital Social, 2006. Pág. 19.
- Vitousek, P. M., (1997). Human domination of Earth's ecosystems. *Science*. 277: 494-499. 1997.
- Walker, B., (2004). Resilience, adaptability and transformability in social-ecological systems. *Ecology and Society* 9: 5.
- Willer, H. y M. Youssefi (eds.). 2004. Natural y Capital Social, 2006. Pág. 37.
- Wilson, Edward. *The diversity of life*. W.W. Norton & Company, Inc. Nueva York, 1993.
- World Commission on Forests and Sustainable Development, 1998b; *Our Forests . . . Our Future*, Summary of Draft Report, WCFSD Secretariat, Winnipeg.
- WRI (World Resources Institute) (1994). *World Resources 1994-1995: A Guide to the Global Environment*, World Resources Institute, Washington.