

CAMBIO CLIMÁTICO GLOBAL

Alumno Mogens Gallardo y profesor Dr. Ricardo Barra. 1997. Universidad de Concepción, Centro Eula-Chile. Programa de doctorado en Ciencias Ambientales.

www.produccion-animal.com.ar

Volver a: [Clima y ambientación](#)

INTRODUCCIÓN

Actualmente, existe un fuerte consenso científico que el clima global se verá alterado significativamente, en el próximo siglo, como resultado del aumento de concentraciones de gases invernadero tales como el dióxido de carbono, metano, óxidos nitrosos y clorofluorocarbonos (Houghton *et al.*, 1990, 1992). Estos gases están atrapan-do una porción creciente de radiación infrarroja terrestre y se espera que harán aumentar la temperatura planetaria entre 1,5 y 4,5 °C . Como respuesta a esto, se estima que los patrones de precipitación global, también se alteren. Aunque existe un acuerdo general sobre estas conclusiones, hay una gran incertidumbre con respecto a las magnitudes y las tasas de estos cambios a escalas regionales (EEI, 1997).

Asociados a estos potenciales cambios, habrán grandes alteraciones en los ecosistemas globales. Trabajos científicos sugieren que los rangos de especies arbóreas, podrán variar significativamente como resultado del cambio climático global. Por ejemplo, estudios realizados en Canadá proyectan pérdidas de aproximadamente 170 millones de hectáreas de bosques en el sur Canadiense y ganancias de 70 millones de hectáreas en el norte de Canadá, por ello un cambio climático global como el que se sugiere, implicaría una pérdida neta de 100 millones de hectáreas de bosques (Sargent, 1988).

Aún así, hay una considerable incertidumbre con respecto a las implicaciones del cambio climático global y las respuestas de los ecosistemas, que a su vez, pueden traducirse en desequilibrios económicos (EEI, 1997). Este tema será de vital importancia en países que dependen fuertemente de recursos naturales.

Con respecto al impacto directo sobre seres humanos, se puede incluir la expansión del área de enfermedades infecciosas tropicales (Becker, 1997), inundaciones de terrenos costeros y ciudades, tormentas más intensas, las extinción de incontables especies de plantas y animales, fracasos en cultivos en áreas vulnerables, aumento de sequías, etc. (Lashof, 1997).

Estas conclusiones han llevado a una reacción gubernamental mundial, se ha expresado en numerosos estudios y conferencias, incluyendo tratados enfocados a enfrentar y en lo posible solucionar la crisis. Este trabajo analizará la problemática del Cambio Climático Global, las bases teóricas, sus posibles efectos futuros, las medidas tomadas y las medidas recomendadas para enfrentar adecuadamente el problema.

BASES TEÓRICAS DEL CAMBIO CLIMÁTICO GLOBAL

Para poder comprender el cambio global climático y el aumento de la temperatura global se debe primero comprender el clima global y cómo opera. El clima es consecuencia del vínculo que existe entre la atmósfera, los océanos, las capas de hielos (criósfera), los organismos vivientes (biosfera) y los suelos, sedimentos y rocas (geósfera). Sólo si se considera al sistema climático bajo esta visión holística, es posible entender los flujos de materia y energía en la atmósfera y finalmente comprender las causas del cambio global (GCCIP, 1997). Para ello es necesario analizar cada uno de los compartimentos interrelacionados, se comenzará con el más importante, la atmósfera.

LA ATMÓSFERA

Capa gaseosa que rodea al planeta Tierra, se divide teóricamente en varias capas concéntricas sucesivas. Estas son, desde la superficie hacia el espacio exterior: troposfera, tropopausa, estratosfera, estratopausa, mesosfera y termosfera.

La atmósfera es uno de los componentes más importantes del clima terrestre. Es el presupuesto energético de ella la que primordialmente determina el estado del clima global, por ello es esencial comprender su composición y estructura (GCCIP, 1997). Los gases que la constituyen están bien mezclados en la atmósfera pero no es físicamente uniforme pues tiene variaciones significativas en temperatura y presión, relacionado con la altura sobre el nivel del mar (GCCIP, 1997).

La **troposfera** o baja atmósfera, es la que está en íntimo contacto con la superficie terrestre y se extiende hasta los 11 km. s.n.m. en promedio (Miller, 1991). Tiene un grosor que varía desde 8 km. en los polos hasta 16 km. en el ecuador, principalmente debido a la diferencia de presupuesto energético en esos lugares . Abarca el 75% de la masa de gases totales que componen la atmósfera, el 99% de la masa de la atmósfera se encuentra bajo los 30 km. s.n.m. (GCCIP, 1997; Miller, 1991). Consta en particular, en 99% de dos gases, el Nitrógeno (N₂, 78%) y Oxígeno (O₂, 21%). El 1% que resta consta principalmente de Argón (Ar, ≅ 1%) y Dióxido de Carbono (CO₂,

0,035%). El aire de la troposfera incluye vapor de agua en cantidades variables de acuerdo a condiciones locales, por ejemplo, desde 0,01% en los polos hasta 5% en los trópicos (Miller, 1991). La temperatura disminuye con la altura, en promedio, 6,5°C por kilómetro. La mayoría de los fenómenos que involucran el clima ocurren en esta capa de la atmósfera (Kaufmann, 1968), en parte sustentado por procesos convectivos que son establecidos por calentamiento de gases superficiales, que se expanden y ascienden a niveles más altos de la troposfera donde nuevamente se enfrían (GCCIP, 1997). Esta capa incluye además los fenómenos biológicos.

La **tropopausa** marca el límite superior de la troposfera, sobre la cual la temperatura se mantiene constante antes de comenzar nuevamente a aumentar por sobre los 20 km. s.n.m. Esta condición térmica evita la convección del aire y confina de esta manera el clima a la troposfera (GCCIP, 1997).

La capa por sobre la tropopausa en la que la temperatura comienza a ascender se llama **estratosfera**, una vez que se alcanzan los 50 km. de altura, la temperatura ha llegado a los 0°C. Por lo tanto, se extiende desde los 20 km. hasta 48-50 km. s.n.m. (Miller, 1991; GCCIP, 1997). Contiene pequeñas cantidades de los gases de la troposfera en densidades decrecientes proporcional a la altura. Incluye también cantidades bajísimas de Ozono (O₃) que filtran el 99% de los rayos ultravioleta (UV) provenientes de las radiaciones solares (Miller, 1991). Es esta absorción de UV la que hace ascender la temperatura hasta cerca de los 0°C. Este perfil de temperaturas permite que la capa sea muy estable y evita turbulencias, algo que caracteriza a la estratosfera. Esta, a su vez, está cubierta por la **estratopausa**, otra inversión térmica a los 50 km. (GCCIP, 1997).

La **mesosfera** se extiende por encima de los 50 km., la temperatura desciende hasta -100 °C a los 80 km. su límite superior.

Por sobre los 80 km. s.n.m., encima de la mesosfera, se extiende la **termosfera**, en ella la temperatura asciende continuamente hasta sobre los 1000 °C. Por la baja densidad de los gases a esas altitudes no son condiciones de temperatura comparables a las que existirían en la superficie (GCCIP, 1997).

COMPOSICIÓN ATMOSFÉRICA

Es una mezcla de varios gases y aerosoles (partículas sólidas y líquidas en suspensión), forma el sistema ambiental integrado con todos sus componentes. Entre sus variadas funciones mantiene condiciones aptas para la vida. Su composición es sorprendentemente homogénea, resultado de procesos de mezcla, el 50% de la masa está concentrado por debajo de los 5 km. s.n.m. Los gases más abundantes son el N₂ y O₂. A pesar de estar en bajas cantidades, los gases de invernadero cumplen un rol crucial en la dinámica atmosférica. Entre éstos contamos al CO₂, el metano, los óxidos nitrosos, ozono, halocarbonos, aerosoles, entre otros. Debido a su importancia y el rol que juegan en el cambio climático global, se analizan a continuación.

Previamente es importante entender que el clima terrestre depende del balance energético entre la radiación solar y la radiación emitida por la Tierra. En esta reirradiación, sumada a la emisión de energía geotectónica, los gases invernadero juegan un rol crucial.

Al analizar los gases atmosféricos, incluidos los gases invernadero, es importante identificar las *fuentes, reservorios o sinks* y el *ciclo de vida* de cada uno de ellos, datos cruciales para controlar la contaminación atmosférica.

Una *fuentes* es el punto o lugar donde un gas, o contaminante, es emitido o sea, donde entran a la atmósfera. Un *reservorio o sink*, es un punto o lugar en el cual el gas es removido de la atmósfera, o por reacciones químicas o absorción en otros componentes del sistema climático, incluyendo océanos, hielos y tierra. El *ciclo de vida* denota el periodo promedio que una molécula de contaminante se mantiene en la atmósfera. Esto se determina por las velocidades de emisión y de captación en reservorios o sinks.

El aumento de gases invernadero atmosféricos ha incrementado la capacidad que tiene para absorber ondas infrarrojas, aumentando su reforzamiento radiativo, que aumenta la temperatura superficial. Este fenómeno se mide en watts por metro cuadrado (W/m²).

Dióxido de Carbono

Es el más importante de los gases menores, involucrado en un complejo ciclo global. Se libera desde el interior de la Tierra a través de fenómenos tectónicos y a través de la respiración, procesos de suelos y combustión de compuestos con carbono y la evaporación oceánica. Por otro lado es disuelto en los océanos y consumido en procesos fotosintéticos. En la actualidad su concentración ha llegado a 359 ppmv (partes por millón volumen), producto de la acción antropogénica: quema de combustibles fósiles y materia orgánica en general.

Fuentes naturales: respiración, descomposición de materia orgánica, incendios forestales naturales.

Fuentes antropogénicas: quema de combustibles fósiles, cambios en uso de suelos (principalmente deforestación), quema de biomasa, manufactura de cemento.

Sink: absorción por las aguas oceánicas, y organismos marinos y terrestres, especialmente bosques y fitoplancton.

Ciclo de vida: entre 50 y 200 años.

Metano

Otro gas de invernadero, CH₄, el metano es producido principalmente a través de procesos anaeróbicos tales como los cultivos de arroz o la digestión animal. Es destruida en la baja atmósfera por reacción con radicales hidroxilo libres (-OH). Como el CO₂, sus concentraciones aumentan por acción antropogénica directa e indirecta.

Fuentes: naturalmente a través de la descomposición de materia orgánica en condiciones anaeróbicas, también en los sistemas digestivos de termitas y rumiantes. Antropogénicamente, a través de cultivos de arroz, quema de biomasa, quema de combustibles fósiles, basureros y el aumento de rumiantes como fuente de carne.

Sink: reacción con radicales hidroxilo en la troposfera y con el monóxido de carbono (CO) emitido por acción antropogénica.

Oxido Nitroso

El óxido nitroso (N₂O) es producido por procesos biológicos en océanos y suelos, también por procesos antropogénicos que incluyen combustión industrial, gases de escape de vehículos de combustión interna, etc. Es destruido fotoquímicamente en la alta atmósfera.

Fuentes: producido naturalmente en océanos y bosques lluviosos. Fuentes antropogénicas, producción de nylon y ácido nítrico, prácticas agrícolas, automóviles con convertidores catalíticos de tres vías, quema de biomasa y combustibles.

Sink: reacciones fotolíticas, consumo por los suelos puede ser un sink pequeño pero no ha sido bien evaluado.

Ozono

El ozono (O₃) en la estratosfera filtra los UV dañinos para las estructuras biológicas, es también un gas invernadero que absorbe efectivamente la radiación infrarroja. La concentración de ozono en la atmósfera no es uniforme sino que varía según la altura. Se forma a través de reacciones fotoquímicas que involucran radiación solar, una molécula de O₂ y un átomo solitario de oxígeno. También puede ser generado por complejas reacciones fotoquímicas asociadas a emisiones antropogénicas y constituye un potente contaminante atmosférico en la troposfera superficial. Es destruido por procesos fotoquímicos que involucran a radicales hidroxilos, NO_x y cloro (Cl, ClO). La concentración es determinada por un fino proceso de balance entre su creación y su destrucción. Se teme su eliminación por agentes que contienen cloro (CFCs), que en las alturas estratosféricas, donde está la capa de ozono, son transformadas en radicales que alteran el fino balance que mantiene esta capa protectora (GCCIP, 1997).

Halocarbonos

Clorofluorocarbonos: Compuestos mayormente de origen antrópico, que contienen carbono y halógenos como cloro, bromo, flúor y a veces hidrógeno. Los clorofluorocarbonos (CFCs) comenzaron a producirse en los años 30 para refrigeración. Posteriormente se usaron como propulsores para aerosoles, en la fabricación de espuma, etc. Existen fuentes naturales en las que se producen compuestos relacionados, como los metilhaluros.

No existen sinks para los CFCs en la troposfera y por motivo de su casi inexistente reactividad son transportadas a la estratosfera donde se degradan por acción de los UV, momento en el cual liberan átomos libres de cloro que destruyen efectivamente el ozono.

Hidroclorofluorocarbonos (HCFCs) e Hidrofluorocarbonos (HFCs): compuestos de origen antrópico que están usándose como sustitutos de los CFCs, sólo considerados como transicionales, pues también tienen efectos de gas invernadero. Estos se degradan en la troposfera por acción de fotodisociación

Por la larga vida que poseen son gases invernadero miles de veces más potentes que el CO₂.

Agua

El vapor de agua es un constituyente vital de la atmósfera, en promedio 1% por volumen, aunque con variaciones significativas en las escalas temporales y espaciales. Por su abundancia es el gas de invernadero de mayor importancia, jugando un rol de vital importancia en el balance global energético de la atmósfera.

Aerosoles

La variación en la cantidad de aerosoles afecta también el clima. Incluye polvo, cenizas, cristales de sal oceánica, esporas, bacterias, etc., etc. Sus efectos sobre la turbidez atmosférica pueden variar en cortos periodos de tiempo, por ejemplo luego de una erupción volcánica. En el largo plazo, los efectos son bastante equilibrados debido al efecto natural de limpieza atmosférica, aunque el proceso nunca es completo. Las fuentes naturales se calculan que son 4 a 5 veces mayores que las antropogénicas. Tienen el potencial de influenciar fuertemente la cantidad de radiación de onda corta que llega a la superficie terrestre.

Como conclusión la atmósfera esta principalmente constituida por nitrógeno, oxígeno y algunos otros gases traza y aerosoles que regulan el sistema climático, al regular el balance energético entre la radiación solar incidente y la radiación terrestre que se emite. La mayor parte de la atmósfera se encuentra por debajo de los 10 km., en la troposfera, en la que el clima terrestre opera, y donde el efecto invernadero opera en forma más notoria. Por encima de ella se encuentran capas que son definidas por sus temperaturas.

EL PRESUPUESTO ENERGÉTICO DE LA ATMÓSFERA

La Tierra recibe energía del Sol a la forma de radiación electromagnética, la superficie terrestre recibe radiación ultravioleta (UV) y radiación visible y emite radiación terrestre a la forma de radiación infrarroja. Estos dos grandes flujos energéticos deben estar en balance. Pero la atmósfera afecta la naturaleza de este balance. Los gases invernadero permiten que la radiación de onda corta solar penetre sin impedimento pero absorben la mayor parte de la emisión de ondas largas terrestres. Por ello la temperatura global promedio es de 288K o 15°C, 33 grados más alto que si no tuviera atmósfera. Este efecto se llama el “Efecto Invernadero” (GCCIP, 1997).

Los flujos de humedad, masa y momentum dentro de la atmósfera y los componentes del sistema climático deben estar en equilibrio. El balance de los flujos determina el estado de los climas y los factores que influyan sobre ellos a escala global deben ser considerados los causantes del cambio global.

LOS OCÉANOS

Existe transferencia de momentum al océano a través de los vientos superficiales, que a su vez movilizan las corrientes oceánicas superficiales globales. Estas corrientes asisten en la transferencia latitudinal de calor, análogamente a lo que realiza la atmósfera. Las aguas cálidas se movilizan hacia los polos y viceversa. La energía también es transferida a través de la evaporación. El agua que se evapora desde la superficie oceánica almacena calor latente que es luego liberado cuando el vapor se condensa formando nubes y precipitaciones.

Lo significativo de los océanos es que almacenan mucha mayor cantidad de energía que la atmósfera. Esto se debe a la mayor capacidad calórica (4.2 veces la de la atmósfera) y su mayor densidad (1000 veces mayor). La estructura vertical de los océanos puede dividirse en dos capas, que difieren en su escala de interacción con la atmósfera. La capa inferior, que involucra las aguas frías y profundas, compromete el 80% del volumen oceánico. La capa superior, que está en contacto íntimo con la atmósfera, es la capa de frontera estacional, un volumen mezclado que se extiende sólo hasta los 100 m. de profundidad en los trópicos, pero que llega a varios kilómetros en las aguas polares. Esta capa sola, almacena 30 veces más energía que la atmósfera. De esta manera, un cambio dado de contenido de calor en el océano redundará en un cambio a lo menos 30 veces mayor en la atmósfera. Por ello pequeños cambios en el contenido energético de los océanos pueden tener un efecto considerable sobre el clima global y claramente sobre la temperatura global (GCCIP, 1997).

El intercambio de energía también ocurre verticalmente, entre la Capa Frontera y las aguas profundas. La sal contenida en las aguas marinas se mantiene disuelta en ella al momento de formarse el hielo en los polos, esto aumenta la salinidad del océano. Estas aguas frías y salinas son particularmente densas y se hunden, transportando en ellas considerable cantidad de energía. Para mantener el equilibrio en el flujo de masas de agua existe una circulación global termohalina, que juega un rol muy importante en la regulación del clima global (GCCIP, 1997).

LA CRIÓSFERA

La criósfera consiste de las regiones cubiertas por nieve o hielo, sean tierra o mar. Incluye la Antártida, el Océano Ártico, Groenlandia, el Norte de Canadá, el Norte de Siberia y la mayor parte de las cimas más altas de cadenas montañosas. Juega un rol muy importante en la regulación del clima global.

La nieve y el hielo tienen un alto albedo, por ello, algunas partes de la Antártida reflejan hasta un 90% de la radiación solar incidente, comparado con el promedio global que es de un 31%. Sin la criósfera, el albedo global sería considerablemente más bajo, se absorbería más energía a nivel de la superficie terrestre y consecuentemente la temperatura atmosférica sería más alta.

También tiene un rol en desconectar la atmósfera con los océanos, reduciendo la transferencia de humedad y momentum, y de esta manera, estabiliza las transferencias de energía en la atmósfera. Finalmente, su presencia afecta marcadamente el volumen de los océanos y de los niveles globales del mar, cambios en ella, pueden afectar el presupuesto energético del clima.

BIOSFERA

La vida puede encontrarse en casi cualquier ambiente terrestre. Pero al discutir el sistema climático es conveniente considerar la biosfera como un componente discreto, al igual que la atmósfera, océanos y la criósfera.

La biosfera afecta el albedo de la Tierra, sea sobre la tierra como en los océanos. Grandes áreas de bosques continentales tienen bajo albedo comparado con regiones sin vegetación como los desiertos. El albedo de un bosque decíduo es de aproximadamente 0,15 a 0,18, donde un bosque de coníferas es entre 0,09 y 0,15. Un bosque tropical lluvioso refleja menos aún, entre 0,07 y 0,15. Como comparación, el albedo de un desierto arenoso es de cerca 0,3. Queda claro que la presencia de bosques afecta el presupuesto energético del sistema climático.

Algunos científicos, piensan que la quema de combustibles fósiles no es tan desestabilizante como la tala de bosques y la destrucción de los ecosistemas que mantienen la producción primaria de los océanos (Anderson *et al*, 1987).

La biosfera también afecta los flujos de ciertos gases invernadero, tales como el dióxido de carbono y el metano. El plancton de las superficies oceánicas utilizan el dióxido de carbono disuelto para la fotosíntesis. Esto establece un flujo del gas, con el océano, de hecho fijando gas desde la atmósfera. Al morir, el plancton, transporta el dióxido de carbono a los fondos oceánicos. Esta productividad primaria reduce en un factor 4 la concentración atmosférica del dióxido de carbono y debilita significativamente el efecto invernadero terrestre natural.

Se estima que hasta el 80% del oxígeno producido por la fotosíntesis es resultado de la acción de las algas oceánicas, especialmente las áreas costeras. Por ello la contaminación acuática en esos sectores, podría ser muy desestabilizante (Anderson *et al*, 1987).

La biosfera también afecta la cantidad de aerosoles en la atmósfera. Billones de esporas, virus, bacterias, polen y otras especies orgánicas diminutas son transportadas por los vientos y afectan la radiación solar incidente, influenciando el presupuesto energético global. La productividad primaria oceánica produce compuestos conocidos como dimetilsulfidos, que en la atmósfera se oxidan para formar sulfatos aerosoles que sirven como núcleos de condensación para el vapor de agua, ayudando así a la formación de nubes. Las nubes a su vez, tienen un complejo efecto sobre el presupuesto energético climático. Por lo que cualquier cambio en la productividad primaria de los océanos, puede afectar indirectamente el clima global.

Existen por supuesto muchos otros mecanismos y procesos que afectan y que están acoplados al resto del sistema climático.

GEOSFERA

El quinto, y componente final, consiste en suelos, sedimentos y rocas de las masas de tierras, corteza continental y oceánica, y en última instancia, el interior mismo de la Tierra. Tienen un rol de influencia sobre el clima global que varía en las escalas temporales.

Variaciones en el clima global que se extienden por decenas y hasta centenas de millones de años, se deben a modulaciones interiores de la Tierra. Los cambios en la forma de las cuencas oceánicas y el tamaño de las cadenas montañosas continentales, influyen en las transferencias energéticas del sistema climático.

En escalas mucho menores de tiempo, procesos químicos y físicos afectan ciertas características de los suelos, tales como la disponibilidad de humedad, la escorrentía, y los flujos de gases invernadero y aerosoles hacia la atmósfera y los océanos. El vulcanismo, aunque es impulsado por el lento movimiento de las placas tectónicas, ocurre regularmente en escalas de tiempo mucho menores. Las erupciones volcánicas agregan dióxido de carbono a la atmósfera que ha sido removida por la biosfera y emiten además, grandes cantidades de polvo y aerosoles. Estos procesos explican someramente, como la geosfera puede afectar el sistema climático global (GCCIP, 1997).

EL CAMBIO CLIMÁTICO GLOBAL

El Cambio Global Climático, un cambio que le atribuido directa o indirectamente a las actividades humanas que alteran la composición global atmosférica, agregada a la variabilidad climática natural observada en periodos comparables de tiempo (EEI, 1997).

La IPCC (Panel Internacional sobre Cambio Climático), un panel de 2500 científicos de primera línea, acordaron que “un cambio discernible de influencia humana sobre el clima global ya se puede detectar entre las muchas variables naturales del clima”. Según el panel, la temperatura de la superficie terrestre ha aumentado aproximadamente 0.6°C en el último siglo. Las emisiones de dióxido de carbono por quema de combustibles, han aumentado a 6.25 mil millones de toneladas en 1996, un nuevo récord. Por otro lado, 1996 fue uno de los cinco años más calurosos que existe en los registros (desde 1866). Por otro lado se estima que los daños relacionados con desastres climáticos llegaron a 60 mil millones de US\$ en 1996, otro nuevo récord (GCCIP).

De acuerdo a la IPCC, una duplicación de los gases de invernadero incrementarían la temperatura terrestre entre 1 y 3.5°C. Aunque no parezca mucho, es equivalente a volver a la última glaciación pero en la dirección inversa. Por otro lado, el aumento de temperatura sería el más rápido en los últimos 100000 años, haciendo muy difícil que los ecosistemas del mundo se adapten.

El principal cambio a la fecha la sido en la atmósfera, Hemos cambiado y continuamos cambiando, el balance de gases que forman la atmósfera. Esto es especialmente notorio en gases invernadero claves como el CO₂, Metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O). Estos gases naturales son menos de una décima de un 1% del total de gases de la atmósfera, pero son vitales pues actúan como una “frazada” alrededor de la Tierra. Sin esta capa la temperatura mundial sería 30°C más baja.

El problema es que estamos haciendo que esta “frazada” sea más gruesa. Esto a través de la quema de carbón, petróleo y gas natural que liberan grandes cantidades de CO₂ a la atmósfera. Cuando talamos bosques y quemamos madera, reducimos la absorción de CO₂ realizado por los árboles y conjuntamente liberamos el dióxido de carbono contenido en la madera. El criar bovinos y plantar arroz genera metano, óxidos nitrosos y otros gases invernadero. Si el crecimiento de la emisión de gases invernadero se mantiene en el ritmo actual los niveles en la atmósfera llegarán a duplicarse, comparados con la época preindustrial, durante el siglo XXI. Si no se toman medidas es posible hasta triplicar la cantidad antes del año 2100 (GCCIP, 1997).

El consenso científico como resultado de esto, es que seguramente habrá un aumento global de la temperatura entre 1.5 y 4.5°C en los próximos 100 años. Esto agregado al ya existente aumento de 0.5°C que ha experimentado la atmósfera desde la revolución industrial (UNEP/WHO, 1986).

Poder predecir cómo esto afectará al clima global, es una tarea muy difícil. El aumento de temperatura tendrá efectos expansivos. Efectos inciertos se agregan a otros inciertos. Por ejemplo, los patrones de lluvia y viento, que han prevalecido por cientos y miles de años, de las que dependen millones, podrían cambiar. El nivel del mar podría subir y amenazar islas y áreas costeras bajas. En un mundo crecientemente sobrepoblado y bajo estrés, con suficientes problemas de antemano, estas presiones causarían directamente mayor hambruna y otras catástrofes (UNEP/WMO, 1994).

Según la Organización Mundial de la Salud (WHO), aun un pequeño aumento de temperatura puede causar un aumento dramático de muertes debido a eventos de temperaturas extremas; el esparcimiento de enfermedades tales como la malaria, dengue y cólera; sequías, falta de agua y alimentos. La IPCC lo plantea así: "El cambio climático con certeza conllevará una significativa pérdida de vidas" (Dunn, 1997).

La cantidad de dióxido de carbono ha aumentado desde 295 ppm anterior a la época industrial, a una cifra actual de 359 ppm. Este aumento corresponde a un 50% de lo esperado, basado en la tasa de quema de combustibles fósiles. Varios procesos naturales parecen actuar como moderadores, por ejemplo el océano actúa como reserva, donde el dióxido de carbono se disuelve como tal y como carbonatos y bicarbonatos. Un aumento del dióxido de carbono en el aire, actúa como estimulante del crecimiento vegetal, de esta manera se fija más de este gas. El calentamiento de la Tierra, además de descongelar las capas polares, puede causar un cambio en el sistema de circulación del aire, cambiando patrones de lluvia. De esta manera, por ejemplo, el Medio-Oeste norteamericano (fuente agrícola de Estados Unidos), podría transformarse en desierto, y las zonas de cultivo moverse hacia áreas de Canadá.

CAUSAS DEL CAMBIO GLOBAL CLIMÁTICO

La energía recibida por la Tierra desde el Sol, debe ser balanceada por la radiación emitida desde la superficie terrestre. En la ausencia de cualquier atmósfera, la temperatura superficial sería aproximadamente -18 °C . Esta es conocida como la *temperatura efectiva de radiación terrestre*. De hecho la temperatura superficial terrestre, es de aproximadamente 15 °C .

El Efecto Invernadero

La razón de esta discrepancia de temperatura, es que la atmósfera es casi transparente a la radiación de onda corta, pero absorbe la mayor parte de la radiación de onda larga emitida por la superficie terrestre. Varios componentes atmosféricos, tales como el vapor de agua, el dióxido de carbono, tienen frecuencias moleculares vibratorias en el rango espectral de la radiación terrestre emitida. Estos gases de invernadero absorben y reemiten la radiación de onda larga, devolviéndola a la superficie terrestre, causando el aumento de temperatura, fenómeno denominado Efecto Invernadero (GCCIP, 1997).

El vidrio de un invernadero similar a la atmósfera es transparente a la luz solar y opaca a la radiación terrestre, pero confina el aire a su interior, evitando que se pueda escapar el aire caliente (McIlveen, 1986; Anderson *et al*, 1987). Por ello, en realidad, el proceso involucrado es distinto y el nombre es bastante engañoso, el interior de un invernadero se mantiene tibio, pues el vidrio inhibe la pérdida de calor a través de convección hacia el aire que lo rodea. Por ello, el fenómeno atmosférico se basa en un proceso distinto al de un invernadero, pero el término se ha popularizado tanto, que ya no hay forma de establecer un término más exacto.

Una de las muchas amenazas a los sistemas de sostén de la vida, resulta directamente de un aumento en el uso de los recursos. La quema de combustibles fósiles y la tala y quema de bosques, liberan dióxido de carbono. La acumulación de este gas, junto con otros, atrapa la radiación solar cerca de la superficie terrestre, causando un calentamiento global. Esto podría en los próximos 45 años, aumentar el nivel del mar lo suficiente como para inundar ciudades costeras en zonas bajas y deltas de ríos. También alteraría drásticamente la producción agrícola internacional y los sistemas de intercambio (WMO, 1986).

Uno de los resultados del Efecto Invernadero, es mantener una concentración de vapor de agua en la baja troposfera mucho más alta que la que sería posible en las bajas temperaturas que existirían si no existiese el fenómeno. Se especula que en Venus, el volcanismo elevó las temperaturas hasta el punto que no se pudieron formar los océanos, y el vapor resultante produjo un Efecto Invernadero, exacerbado más aún por la liberación de dióxido de carbono en rocas carbonatadas, terminando en temperaturas superficiales de más de 400 °C (Anderson *et al*, 1987).

Lista resumen sobre gases invernadero

Gas Invernadero	Concentración 1750	Concentración 1992	Fuerza Irradiativa (W/m ²)
Dióxido de Carbono	280 ppmv	355 ppmv	1,56
Metano	0,8 ppmv	1,72 ppmv	0,5
Oxido Nitroso	275 ppbv	310 ppbv	0,1
CFC-11	0	280 pptv	(siguiente)
CFC-12	0	484 pptv	0,3 (todos los CFCs)
HCFCs/HFCs	0	Sin datos	0,05
Ozono Troposférico	Sin datos	Variable	0,2 - 0,6
Ozono Estratosférico	Sin datos	300 unidad. dobson	-0,1

MECANISMOS FORZAMIENTO DE RADIACIÓN

Un proceso que altera el balance energético del sistema climático global o parte de él, se denomina un mecanismo forzado de radiación. Estos están separados a su vez, en mecanismos forzados internos y externos. Los externos, operan desde fuera del sistema climático, incluyen variaciones de órbita y cambios en el flujo solar. Los mecanismos internos, operan desde dentro del sistema climático, como por ejemplo la actividad volcánica y cambios en la composición de la atmósfera.

Variaciones de Órbita

Los cambios en el carácter de la órbita terrestre alrededor del Sol, se dan en escalas de tiempo de milenios o más largos. Pueden significativamente alterar la distribución estacional y latitudinal de la radiación recibida. Son conocidas como *Ciclos Milancovitch*. Son estos ciclos los que fuerzan cambios entre condiciones glaciales e interglaciales sobre la Tierra, con escalas de entre 10.000 y 100.000 años. El máximo de la última glaciación, ocurrió hace 18.000 años.

Variabilidad Solar

Otro de los mecanismos de fuerza externa, corresponde a cambios físicos en el mismo Sol, que pueden alterar la intensidad y el carácter del flujo de radiación solar. No existe duda que éstos ocurren en un rango variable de tiempo. Uno de los ciclos más conocidos es el de las manchas solares, cada 11 años. Otros parámetros, como el diámetro solar, también varían. Aún no existen datos suficientes como para corroborar variaciones suficientemente fuertes como para generar cambios climáticos.

Actividad Volcánica

Es un ejemplo de un mecanismo de fuerza interno, erupciones volcánicas por ejemplo, inyectan grandes cantidades de polvo y dióxido de azufre, en forma gaseosa a la atmósfera superior, la estratosfera, aquí son transformados en aerosoles de ácido sulfúrico. Ahí se mantienen por varios años, gradualmente esparciéndose por todo el globo. La contaminación volcánica resulta en reducciones de la iluminación solar directa (puede llegar a un 5 ó 10%) y generan bajas considerables de temperatura.

Composición Atmosférica

El cambio de composición de gases, especialmente los gases invernadero, es uno de los más grandes mecanismos de fuerza internos.

Cambios naturales en el contenido de dióxido de carbono atmosférico, ocurrieron durante las transiciones glaciales - interglaciales, como respuesta a mecanismos de fuerzas orbitales. En la actualidad, la humanidad es el factor más sustancial de cambio.

Retroalimentación

El sistema climático está en un balance dinámico. Por ello está continuamente ajustándose a perturbaciones forzadas, y como resultado, el clima se ve alterado. Un cambio en cualquier parte del sistema climático, iniciado por mecanismos forzados internos o externos, tendrán una consecuencia mucho más amplia, a medida que el efecto se propaga en cascada, a través de los componentes asociados en el sistema climático, se amplifica. Esto es conocido como *retroalimentación*. A medida que un efecto es transferido, desde un subcomponente del sistema a otro, se verá modificado en carácter o en escala. En algunos casos el efecto inicial puede ser amplificado (feedback positivo), mientras que en otros, puede verse reducido (feedback negativo).

Un ejemplo de un mecanismo de feedback positivo, involucra el vapor de agua. Una atmósfera más caliente potencialmente aumentará la cantidad de vapor de agua en ella. Ya que el vapor de agua es un gas invernadero, se atraparán más energía que aumentará la temperatura atmosférica más todavía. Esto a su vez, produce mayor vapor de agua, estableciéndose un feedback positivo.

CAMBIOS CLIMÁTICOS PREDICHOS PARA EL SIGLO XXI

Queda claro que la previsión de cambios en los próximos 100 a 150 años, se basan íntegramente en modelos de simulación. Comprensiblemente la gran mayoría de los modelos se han concentrado sobre los efectos de la contaminación antrópica de la atmósfera por gases invernadero, y en menor grado, en los aerosoles atmosféricos. La mayor preocupación presente, es determinar cuánto se entibiará la Tierra en un futuro cercano.

En la última década, varios modelos complejos de circulación general (GCMs), han intentado simular los cambios climáticos antropogénicos futuros. Han llegado a las siguientes conclusiones:

- ◆ Un calentamiento global promedio, de entre 1,5 y 4,5 °C ocurrirá, siendo la mejor estimación 2,5 °C .
- ◆ La estratosfera se enfriará significativamente.
- ◆ El entibiamiento superficial será mayor en las altas latitudes en invierno, pero menores durante el verano.
- ◆ La precipitación global aumentará entre 3 y 15%.
- ◆ Habrá un aumento en todo el año de las precipitaciones en las altas latitudes, mientras que algunas áreas tropicales, experimentarán pequeñas disminuciones.

Modelos más recientes dependientes del tiempo, que acoplan los componentes oceánicos y atmosféricos, han entregado estimaciones más confiables, los resultados más significativos indican:

- ◆ Un calentamiento global promedio de 0,3 °C por década, asumiendo políticas no intervencionistas.
- ◆ Una variabilidad natural de aproximadamente 0,3 °C en temperaturas aéreas superficiales globales, en una escala de décadas.
- ◆ Cambios en los patrones regionales de temperatura y precipitaciones similares a los experimentos de equilibrio.

Aunque los modelos CGM proveen las simulaciones más detalladas de los cambios climáticos futuros, los constreñimientos computacionales evitan que sean usados en estudios de sensibilidad que permitan investigar los defectos potenciales futuros en el mundo real, con respecto a las emisiones de gases invernaderos.

Usando las sensibilidades de “mejor estimación”, se generan escenarios que dan un rango de calentamiento entre 1,5 y 3,5 °C para el año 2100. Bajo condiciones sin intervención, la temperatura superficial global promedio, se estima aumentaría entre 2 y 4 °C , en los próximos 100 años. Hasta las proyecciones más optimistas de acumulación de gases invernadero, no pueden prevenir un cambio significativo en el clima global del próximo siglo. En los peores escenarios, la temperatura superficial global promedio, podría aumentar en 6 °C para el año 2100.

Como conclusión, la temperatura global promedio podría aumentar entre 2 y 4 °C para el año 2100, si el desarrollo global continúa a los ritmos actuales. Si se incorpora la influencia de los aerosoles atmosféricos al modelo, el calentamiento disminuye a aproximadamente 0,2 °C por década, en los próximos 100 años. Esta tasa de cambio climático, aún así, es más rápido que en cualquier otro momento de la historia de la Tierra. Si las naciones no actúan, el mundo podrá experimentar numerosos impactos adversos como resultado del calentamiento global futuro.

ENFRENTANDO EL PROBLEMA DEL CALENTAMIENTO GLOBAL

Agenda 21

El resultado principal de la Conferencia sobre Medio Ambiente y Desarrollo de la ONU, es el más completo de los planes de acción para los 90's y más allá, adoptada por la comunidad internacional. Representa un set de estrategias integradas y programas detallados para parar y revertir los efectos de la degradación ambiental y promover el desarrollo adecuado y sustentable en todos los países.

Declaración de Río

Proclamación hecha por la Conferencia sobre Ambiente y Desarrollo de las Naciones Unidas, realizada en Río de Janeiro, Junio 1992. Reafirma y construye sobre la declaración de la Conferencia sobre el Ambiente Humano de las Naciones Unidas realizada en 1972. La meta de la declaración es establecer la cooperación entre los estados miembros para lograr acuerdos en las leyes y principios que promuevan el desarrollo sustentable. La declaración confronta diversas áreas que se relacionan con el cambio global, proveyendo un contexto de políticas que enfrentan el cambio global, incluye: recursos naturales, impactos ambientales del desarrollo, protección de ecosistemas, compartir ideas científicas, internalización de costos ambientales, etc.

Convención Marco sobre Cambio Climático

Firmada por 165 estados, compromete a sus firmantes a la meta de “estabilizar la concentración de gases invernadero en la atmósfera a niveles que eviten interferencias antrópicas con el sistema climático”. La convención establece como meta provisional, reducir las emisiones de gases invernaderos a niveles del año 1990 para el año 2000. La convención establece un protocolo para que las naciones hagan un inventario de emisiones y puedan seguir sus progresos. También enfrenta el tema de financiamiento y transferencia de tecnología desde los países desarrollados a los en vías de desarrollo.

Informe de la segunda Evaluación del IPCC

El IPCC (Panel Internacional sobre Control Climático) es un cuerpo internacional, que consiste en delegados y científicos intergubernamentales, que desde 1988 están evaluando el calentamiento global. Su última evaluación mayor fue "Cambio Climático 1995", que provee la base para la reunión de Ginebra y la reunión próxima en Kyoto, Japón en diciembre 1997, que limitará las emisiones de CO₂ humanas. La Síntesis de la Segunda Evaluación, establece:

"Durante las últimas décadas, se han hecho muy aparente dos importantes factores en la relación entre humanos y el clima mundial. Primero, las actividades humanas, que incluyen la quema de combustibles fósiles, cambios en uso de tierras y agricultura, están aumentando las concentraciones de gases invernadero (que tienden a aumentar la temperatura atmosférica) y en algunas regiones, aerosoles (que tienden a enfriar la atmósfera). Estos cambios, juntos, se proyectan que cambiarán el clima regional y global junto con parámetros relacionados con el clima, tales como la temperatura, precipitación, humedad de suelos y el nivel del mar. Segundo, algunas comunidades humanas se han hecho más vulnerables a riesgos tales como tormentas, inundaciones y sequías como el resultado de un aumento de densidad de población en áreas riesgosas tales como cuencas de ríos y planicies costeras. Cambios serios se han identificado, como el aumento, en algunas áreas, de la incidencia de eventos de alta temperatura, inundaciones, etc., aumento de pestes, cambios en la composición, estructura y funcionamiento ecológico, incluyendo la productividad primaria". (Pace Energy Project, 1997)

FORMAS DE ENFRENTAR EL CAMBIO CLIMÁTICO GLOBAL

Se expondrán brevemente algunas formas en que distintos grupos han enfrentado el problema, o proponen enfrentar el problema, del cambio climático global. Todos colocan un fuerte énfasis en la reducción de la emisión de gases invernadero.

LA CONVENCIÓN FCCC DE LAS NACIONES UNIDAS

La Convención Marco sobre Cambio Climático de las Naciones Unidas (FCCC) que fue firmada en la Cumbre Mundial en 1992 por 162 gobiernos se enfocaba específicamente en el problema. El objetivo principal de la convención es *lograr estabilizar los gases invernadero en la atmósfera, lo que prevendría una peligrosa interferencia antrópica en el sistema climático*. La convención requería que todas las naciones que firmaran el tratado debieran lograr reducir sus emisiones de gases invernadero hasta niveles de 1990 para el año 2000.

En el Reino Unido, se estableció un programa que pretende lograr ese objetivo a través de la promoción del uso eficiente de la energía, como medio para reducir la generación de dióxido de carbono en todos los sectores de esa nación.

En la generación de energía eléctrica se ha invertido en plantas combinadas de calor y poder, en las que se utiliza la energía calórica que antes se perdía.

En la industria, las medidas de ahorro son específicas para cada proceso.

En el sector doméstico, se logrará a través de mejoras en el aislamiento térmico de las viviendas y la mejora de la eficiencia de los aparatos domésticos a través de mejores diseños y mejor uso, como es el caso de la iluminación.

En el sector comercial los métodos de mejora de eficiencia se lograrán a través de métodos muy similares a los domésticos.

El transporte público, a través de mejoras en la tecnología de los motores, mejor mantención de los motores, cumplir los límites de velocidad y uso más discreto de la aceleración y frenado.

Para que esto se llegue a implementar, es necesario invertir en campañas de educación e información, establecer regulaciones y estándares, junto con fiscalización, impuestos y regulación de precios, incentivos y desincentivos económicos.

RECOMENDACIONES DEL SIERRA CLUB

1. Mejorar la eficiencia de los automóviles. Se lograría a través de mejor tecnología, aliviando la estructura, mejoras en los motores y transmisión, reduciendo el roce aerodinámico, disminuyendo la resistencia de las ruedas, etc.
2. Acelerar las mejoras de eficiencia en el uso energético de industrias, residencias y establecimientos comerciales y públicos, por medio de políticas efectivas.
3. Estimular y acelerar la investigación y desarrollo de tecnologías basadas en fuentes de energía de energía renovable.
4. Terminar la deforestación y estimular la reforestación (Glick, 1997)

CONCLUSIÓN

El Cambio Climático Global es un hecho, aunque existen los escépticos de siempre, no representan de ninguna manera un grupo mayoritario. Es por ello que los Gobiernos a nivel mundial han reaccionado ante la amenaza cada vez más cercana de alteraciones climáticas que puedan colocar sus economías en peligro.

El Cambio Climático Global por otro lado ha dejado muy claro, la globalización de los problemas ambientales, es imposible e inútil enfrentar los problemas más graves en el ambiente si no es una empresa que involucre a todas las naciones.

La presión poblacional y de desarrollo tomada por las naciones más desarrolladas y las naciones en vías de desarrollo colocan una presión cada vez mayor sobre los recursos naturales y los sistemas ambientales terrestres. En la actualidad las capacidades autoregulatoras de la atmósfera están siendo llevadas a sus límites. No es una sana política, para la humanidad, dejar la búsqueda de soluciones para el futuro o para cuando se hagan fuertemente necesarias. La atmósfera y los procesos que mantienen sus características no tienen tiempos de reacción muy rápidas comparadas con los periodos humanos. Soluciones a los problemas del adelgazamiento de la Capa de Ozono, al Calentamiento Global, a las alteraciones climáticas devastadoras, no es cuestión de años, ni siquiera décadas. Es por ello una preocupación que debe ser inmediata, no podrá esperarse a que los efectos se hagan demasiado claros, pues lo más seguro es que ya en ese momento sea muy tarde para actuar buscando soluciones.

Como lo plantea Seth Dunn, en el Earth Times:

“No más de 50 años atrás, Kyoto fue “perdonada” de la destrucción por una bomba atómica - debida a su significado cultural como la antigua cuna del Imperio japonés - durante la 2ª Guerra Mundial. En nuestro actual mundo en calentamiento, a medida que los antiguos imperios, se dan cuenta de, posiblemente, las más serias consecuencias de sus revoluciones industriales, Kyoto debe nuevamente lograr un lugar, en forma más pacífica, en la historia, como el sitio donde la humanidad se perdonó de niveles desastrosos de cambio climático. La IPCC que nos advierte, también nos da esperanzas, haciendo notar que reducciones significativas en las emisiones son no sólo económicamente, sino técnicamente factibles”.

Esperemos que sea así, no es demasiado tarde aún.

BIBLIOGRAFÍA

- Anderson, S. H.; Beiswenger, R. E. & P. Walton Purdom. 1987. Environmental Science. Merrill Publishing Co., USA. Tercera Edición. Pág. 505.
- Becker, Dan. 1997. Global Warming Central: Debate number three. [Http://www.law.pace.edu](http://www.law.pace.edu).
- Canadian Environmental Agency. 1997. Environmental Issues. [Http://www.eei.org/](http://www.eei.org/).
- Dunn, Seth. 1997. Controlling the Climate experiment. Earthtimes. [Http://www.earthtimes.com/](http://www.earthtimes.com/)
- GCCIP. 1997. Global Climate Change Information Programme. [Http://www.doc.mmu.au.uk/](http://www.doc.mmu.au.uk/)
- Glick, P. 1997. Global Warming: The high costs of inaction. Sierra Club Understanding green markets project. [Http://mitchell.sierraclub.org/](http://mitchell.sierraclub.org/).
- Houghton, J.T., Callander, B.A., and Varney, S.K., 1990. Climate Change: The IPCC Scientific Assessment. Cambridge University Press. pp. 365.
- Houghton, J.T., Callander, B.A., and Varney, S.K., 1992. Climate Change 1992: The Supplemental Report to the IPCC Scientific Assessment. Cambridge University Press. pp. 200.
- Kaufmann, W. J. 1968. Universe. W. H. Freeman & Company, USA. Segunda Edición. Pág. 634.
- Lashof, Dan. 1997. Global Warming Central: Debate number three. [Http://www.law.pace.edu/](http://www.law.pace.edu/)
- McIlveen, J. R. 1986. Basic Meteorology. Van Nostrand Reinhold, UK. Pág. 457.
- Miller, G. T. 1991. Environmental Science, Sustaining the Earth. Wadsworth Publishing Company, USA. Tercera Edición. Pág. 465.
- Pace Energy Project. 1997. Global Warming Central. Pace University School of Law. [Http://www.law.pace.edu/](http://www.law.pace.edu/).
- Sargent, N.E., 1988. Redistribution of the Canadian boreal forest under a warmed climate, Climatological Bulletin, Vol 22(3), pp. 23-34.
- WCED. 1990. Our Common Future. Oxford University Press, USA. Pág. 400.
- WMO, 1986. A report of the International Conference on the Assessment of Carbon Dioxide and Other Greenhouse Gases in Climate Variations and Associated Impacts. WMO N° 661. In: Our Common Future WCED, 1990. Pág. 400.

[Volver a: Clima y ambientación](#)