

¿EL HOMBRE CAMBIA EL CLIMA O EL CLIMA CAMBIA EL HOMBRE?



Al escribirnos esta materia, deseábamos reflejar sobre dos temas que están e la moda: **Cambios Climáticos y Calentamiento Global**. Presentaremos informaciones y algunas de las visiones que los medios de comunicación tienen dado tanto destaque y que deben ser cuidadosamente analizadas. Finalmente, mostraremos que el Hombre es partícipe del medio ambiente en que vive, y consecuentemente, sufre influencia de este mismo medio, principalmente del Clima.

Pocas ciencias están tan relacionadas a los Cambios Climáticos cuanto la Meteorología.

Cambio climático es un asunto complejo que envuelve una grande cantidad de procesos y variables. Por eso, toda la sociedad necesita de una fuente de información objetiva acerca de las causas de este cambio, sus posibles repercusiones socio-económicas y ambientales, principalmente en las posibles respuestas.

Conscientes de eso, la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) constituyeron, en 1988, el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio del Clima (IPCC), con la misión de evaluar, de manera objetiva, informaciones científicas, técnicas y socioeconómicas disponibles sobre cambio del clima en todo el mundo. Sus evaluaciones son basadas en resultados de publicaciones revisadas por expertos y, cuando existe, documentación apropiada obtenida de la industria y de actividades convencionales (pesca, agricultura etc.). O sea, apoyadas por los trabajos de

centenas de expertos de todas las regiones del mundo.

En síntesis, los informes del IPCC presentan informaciones a respecto de cambios climáticos y del calentamiento global, necesitando de una amplia discusión y revisión de los actuales modelos desarrollados. Desde su creación, el IPCC tiene producido una serie de publicaciones que son obras de referencia en diversos segmentos y usadas por grande número de científicos y estudiantes, empresarios y tomadores de decisión.

Histórico de las Discusiones sobre Cambio del Clima

Aunque la preocupación con el calentamiento del planeta sea relativamente reciente, las discusiones sobre la degradación y los cambios ambientales no son nuevas en nuestra sociedad, datando del comienzo de la década de 1970.

El primero debate mundial acerca del medio ambiente ocurrió en 1972, cuando de la realización de la Conferencia de Estocolmo



(Suecia), culminó en el documento llamado **Declaración de Estocolmo**. Este sirvió para establecer el que serían las bases de la política ambiental contemporánea.

La Primera Conferencia Mundial sobre el Clima, realizada en 1979, reconoció que el cambio climático era un problema grave. En este encuentro fue analizada de qué forma ella podría afectar la actividad humana, y en el final fue elaborada una declaración convocando a los gobiernos mundiales a prevenir los posibles cambios en el clima, que pueden ser provocadas por el hombre y adversas al bienestar de la humanidad.

Allá de eso, fueron aprobados planes para un Programa Mundial sobre el Clima (PMC), bajo la responsabilidad conjunta de la OMM, del PNUMA, y de la Comisión Internacional de Uniones Científicas (CIUC).

Entre 1980 y 1990 fueron realizadas diversas conferencias intergubernamentales centradas en el cambio climático. En conjunto con la creciente evidencia científica, estas conferencias ayudaron a atraer el interés internacional sobre esta cuestión. Estas reuniones examinaron asuntos científicos y políticos, siendo iniciada una acción mundial.

Los principales acontecimientos fueron:

- Conferencia de Villach (octubre de 1985);
- Conferencia de Toronto (junio de 1988);
- Conferencia de Ottawa (febrero de 1989);
- Conferencia de Tata (febrero de 1989);
- Conferencia y Declaración de Haya (marzo de 1989);
- Conferencia Ministerial de Noordwijk (noviembre de 1989);
- Pacto de Cairo (diciembre de 1989);
- Convención de Bergen (mayo de 1990);
- Segunda Conferencia Mundial sobre el Clima (noviembre de 1990).

Pero, el grande cambio realmente ocurrió en 1988 cuando fue establecido el IPCC por OMM y por PNUMA, con la finalidad de: (i) evaluar las informaciones científicas existentes sobre el cambio del clima; (ii) evaluar los impactos ambientales y socioeconómicos del cambio de clima y (iii) formular políticas de minimización y mitigación.

El Primer Informe de Evaluación del IPCC fue finalizado en agosto de 1990 y sirvió de base para la negociación de la Convención-Cuadro de las Naciones Unidas sobre Cambio del Clima (CQNUMC). El IPCC divulgó su suplemento en 1992 y otras publicaciones posteriores, que hasta hoy continúan auxiliando el proceso de la Convención.

En vista de la percepción y de la necesidad de se desarrollar políticas y instrumentos legales sobre la cuestión del cambio de clima, Asamblea General de las Naciones Unidas estableció en 1990 el Comité Intergubernamental de Negociación para la Convención Cuadro sobre Cambio del Clima (CIN/CQMC).

Este Comité fue responsable por la elaboración del documento para Convención-Cuadro, así como cualquier instrumento jurídico relacionado que sea visto como necesario.

Los representantes de más de 150 países se encontraron durante cinco reuniones realizadas entre febrero de 1991 y mayo de 1992. Finalmente, en 9 de mayo de 1992, fue adoptada la CQNUMC¹, en la sede de las Naciones Unidas en Nueva York, EE.UU.

CQNUMC fue firmada inicialmente por Brasil durante la "Cúpula de la Tierra", la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo, también conocida como RIO-92, realizada en Rio de Janeiro en el período de 3 hasta 14 de junio de 1992. Después de la firma brasileña, posteriormente sumaron otras de 170 países, confirmando el carácter planetario de la Convención. Pero, la misma sólo entró en vigor en 21 de marzo de 1994. En Brasil, ella fue ratificada por el Congreso Brasileño en 28 de febrero de 1994, entrando en vigor en 29 de mayo del mismo año.

Su objetivo principal, según el Artículo 2º, es de se obtener "la estabilización de las concentraciones de gases de efecto invernadero (GEI) en atmósfera en un nivel que impida una interferencia humana peligrosa en el sistema del clima". Eso debería ocurrir basándose en dos principios básicos:

- Principio de la Preocupación: La falta de certeza científica absoluta no debe ser usada como razón para que los países adopten medidas para prevenir, evitar o minimizar las causas del cambio del clima y mitigar sus efectos negativos.
- Principio de Responsabilidad Común, pero Diferenciada: De acuerdo con este principio la mayor parcela de las emisiones globales, históricas y actuales, de GEI es originaria de los países desarrollados.

En 1997, durante Tercera Conferencia de las Partes (COP3) fue firmado el Protocolo de Quioto por más de 150 países, entrando en vigor en 2005. Él fue un divisor de aguas para la cuestión del Cambio Climático y posteriormente del Calentamiento Global, tan actualmente comentado.

Sin embargo, antes de hablarnos de las cuestiones propiamente dichas del calentamiento global, debemos comprender mejor como el sistema climático de nuestro planeta funciona.

Esperamos que los temas, informaciones y datos publicados en esta materia sean de grande utilidad en el estímulo la comprensión y debates referentes.

¹ La Convención utiliza el termo "cambio del clima" para referirse exclusivamente al cambio ocasionado por actividades humanas, diferentemente del uso dado por la comunidad científica, donde es necesario hacer referencia al cambio resultante de cualquier fuente.

Sistema Climático

El Medio Ambiente se expresa fundamentalmente en la interacción entre seres vivos y naturaleza. Esa interacción genera conflictos, el hombre altera el medio, pero, por su vez las consecuencias de esa interacción inciden sobre él. Se genera de este modo una serie de problemáticas ambientales, donde el Cambio Climático Global es una de ellas.

Para se enterar de este tema tan complejo es esencial inicialmente entender la estructura y lo funcionamiento del Sistema Climático Terrestre, que es donde se observa el Cambio Climático.

Tratase de un sistema abierto altamente complejo, donde ocurren interacciones entre los diversos componentes del sistema climático (atmósfera, océano, calotas polares, glaciales, biosferas terrestre y marina, cresta terrestre, etc.) y las escalas de tiempo en que se ejercen son diversas. El sistema climático envuelve las influencias de su propia dinámica interna y las fuerzas externas, como erupciones de volcanes, variaciones en la actividad solar, efectos antropogénicos, variaciones en la composición de la atmósfera y el uso de la tierra.



Los cambios climáticos son provocados por modificaciones en las forzantes climáticas. Una forzante es un cambio impuesto en el equilibrio de energía planetaria que, típicamente, causa una alteración en la temperatura global. Forzantes impostas en el sistema climático pueden caer en dos categorías: externas e internas.

Forzantes externas son causadas por variaciones en agentes fuera del sistema climático, tal como, por ejemplo, fluctuaciones en radiación solar. Por otro lado, forzantes internas son variaciones en componentes del sistema climático, pudiendo ser naturales y/o causadas por el hombre (antropogénicas), como por ejemplo, erupciones volcánicas, cambios en la capa de hielo, aumentos en la concentración de CO_2 y deforestación.

Allá de esas, otras forzantes internas de largo plazo, que ocurren como resultado de la deriva continental, surgimiento de una montaña y cambios en la polaridad del campo magnético de Tierra, pueden influenciar a atmósfera y entonces, tal vez, todo el clima.

Forzantes Climáticas Externas

❖ Variaciones de Milankovitch

La teoría astronómica de las variaciones del clima, también es conocida como Teoría de Milankovitch, en homenaje al astrónomo y matemático serbio Milutin Milankovitch, que relacionó variaciones climáticas a parámetros de la órbita terrestre en torno del Sol.

Existen diversas formas en la cual la configuración orbital puede afectar la radiación solar recibida, y entonces posiblemente el clima. Estas son llamadas de ciclos de Milankovitch y resultan de:

(a) variaciones en la forma de la órbita de la Tierra al rededor del Sol (**Ciclos de Excentricidad de la Órbita:** 95.000, 123.000 y 413.000 años).

La órbita de la Tierra tornase más excéntrica (elíptica) y después más circular en un ciclo de aproximadamente 100.000 años. El flujo medio anual incidente varía en función de la excentricidad de la órbita (e).

La excentricidad de la órbita de un planeta indica cuanto su órbita se desvía de un círculo. Cuanto mayor la excentricidad mayor el valor de e , y para el círculo $e = 0$. Para mayores valores de e menor será el flujo anual incidente de radiación solar. El valor actual de e es 0,017. En los últimos 5 millones de años él tiene variado de 0,00048 hasta 0,06079.

Esas variaciones tienen resultado en cambios en el flujo de radiación incidente de +0,014 hasta -0,17% del valor actual.

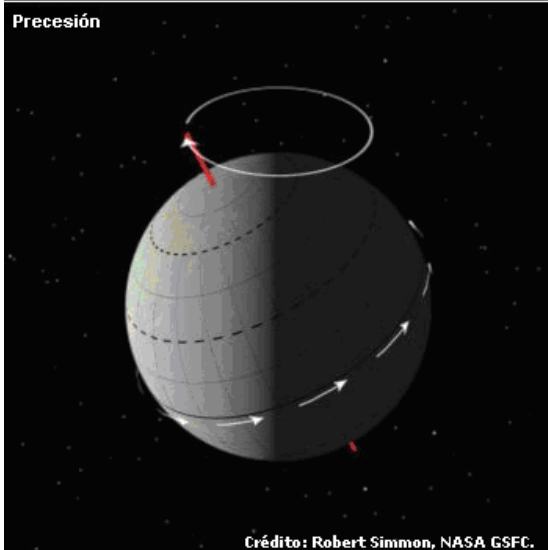
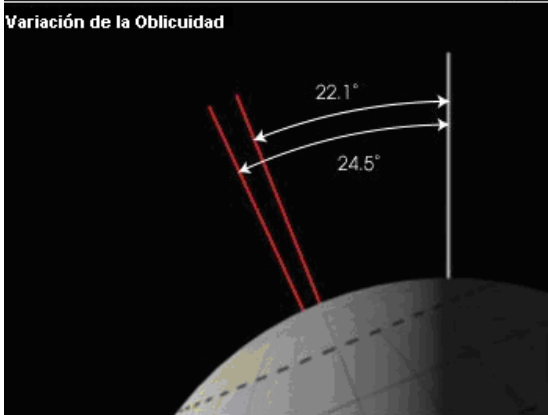
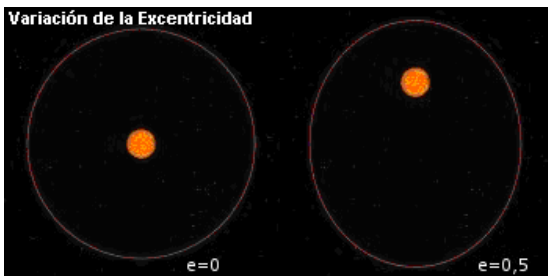
(b) variaciones en la inclinación del ecuador en órbita de la Tierra al rededor del Sol (**Ciclos de Oblicuidad:** 41.000 y 54.000 años).

La oblicuidad (inclinación del eje de rotación de la Tierra) es el ángulo entre el eje de rotación de la Tierra y el plano de eclíptica (plano en el cual se sitúan los cuerpos del sistema solar).

Esta inclinación varía de $22,05^\circ$ hasta $24,5^\circ$, en un período de aproximadamente 41.000 años. El valor actual es $23,5^\circ$. Variaciones sazonales dependen de la oblicuidad: se la oblicuidad es grande, los contrastes sazonales también aumentan de forma que los inviernos son más fríos y los veranos más calientes en ambos los hemisferios. O sea, mayor inclinación implica en estaciones más extremas.

(c) variaciones de la distancia Tierra-Sol debida a interacciones gravitacionales de la Tierra con otros planetas y el Sol (**Ciclos de Precesión:** 23.000 y 18.800 años).

Los cambios en la oblicuidad tienen relativamente poco efecto en la radiación recibida en las bajas latitudes, pero el efecto aumenta en dirección a los polos.



Ciclos de Milankovitch. Fuente: Moran y Morgan, 1991.

La órbita de la Tierra es una elipse en torno del Sol, que queda en un de los focos. Debido a la interacción gravitacional con los otros planetas, Júpiter principalmente, el perihelio (punto de la órbita terrestre más próxima al Sol) se mueve en el espacio de forma que la elipse es modificada al largo del tiempo.

La precesión orbital irá causar un progresivo cambio en la época de los equinoccios. Esos cambios ocurren de tal forma que dos periodicidades son aparentes: 23.000 años y 18.800 años.

Eso cambio, así como la oblicuidad, no altera la radiación total recibida, pero afecta su distribución temporal y espacial.

Por ejemplo, el perihelio ocurre actualmente en 5 de enero, en el medio del verano del hemisferio sur, pero según estimativas de acá hay 11.000 – 15.000 años él irá ocurrir en julio.

En actual valor de la excentricidad existe una variación de 6% en la constante solar entre perihelio y afelio (1.411 - 1.329 W/m²).

Así, las estaciones son intensificadas cuando la máxima inclinación del eje coincide con la máxima distancia del Sol.

La combinación de los tres ciclos de variación de estos parámetros, con las sus diferentes periodicidades e intensidades, produce variaciones complejas entre la cantidad de radiación solar interceptada en cada latitud y en cada estación del año.

La variación importante reside en la diferente repartición sazonal de energía en cada hemisferio, al mismo tiempo en que pueden variar las características de la órbita al largo de los años. Se debe registrar que cada un de los tres ciclos de Milankovitch puede provocar efectos climáticos diferentes en cada latitud del planeta.

Esos ciclos tienen operado continuamente durante por el menos un periodo significativo de la historia de la Tierra (en la medida en que se tornó conocido en los últimos años) y no apenas durante la Época Glacial de los últimos dos millones de años (Cuaternario). Constatase que fueran los causadores de las oscilaciones en nivel del mar, alteraciones rítmicas de partes de los estratos sedimentares del Mesozoico y Cenozoico y alteraciones del tipo de la vegetación presentes en los continentes.

Así, la Teoría de Milankovitch establece que las variaciones cíclicas de la órbita y de la rotación de a Tierra producen variaciones en la cantidad de energía solar que llega a la Tierra (insolación). Esas oscilaciones de corto plazo (alta frecuencia) en termos geológicos fueran superpuestas a una tendencia de enfriamiento gradual del clima de la Tierra desde el inicio del Cenozoico, hay cerca de 60 millones de años, marcada por acentuadas caídas ocasionales, como por ejemplo, 37 millones y 2,5 millones de años atrás.

El gradiente térmico latitudinal se tornó excesivamente elevado durante el curso del final del Terciario, cuando las medias anuales de temperatura aumentarían en los trópicos y la temperatura de verano decreció en las altas latitudes.

❖ Manchas y Ciclos Solares



Variaciones en el clima tienen sido relacionadas a los ciclos de manchas solares, que es la principal causa posible de cambios climáticos producidos por el Sol.

Manchas solares son áreas oscuras (*umbra*) relativamente grandes que aparecen en la superficie del Sol, acompañadas por regiones brillantes, llamadas *fácula*, que cubren una área mayor de que las manchas. La *umbra* irradia la aproximadamente 4.000 K, *fácula* hasta 5.400 K, y la capa adyacente al Sol, la fotosfera, a 5.800 K.

Las manchas solares se encuentran en temperaturas de varias centenas de grados más frías que el conjunto de su superficie. Esas zonas, por sean oscuras, emiten menos energía de la normal, pero, las áreas que las cercan, las *fáculas* solares, aparecen, al contrario, más brillantes. De esta forma, resulta que, en su conjunto, el Sol emite más energía cuantas más manchas solares haya en un momento determinado.

Algunas manchas solares alcanzan grande tamaño y permanecen por varios meses. Otras no pasan de algunas centenas de kilómetros y desaparecen en pocos días.

Las manchas corresponden a zonas en que fuertes campos magnéticos retienen temporalmente el calor que fluye del interior del Sol para la fotosfera. Las primeras manchas de un nuevo ciclo aparecen junto a los polos. En los años siguientes surgen otras, cada vez más próximas del ecuador solar, hasta completar el denominado "máximo solar".

Desde meados del siglo XIX se sabe que el número anual de manchas solares varía sistemáticamente con un período medio de 11 años entre los máximos (variando entre 8 y 13 años). Allá de eso, una oscilación de 22 años (doble ciclo de manchas solares) ocurre en el fuerte campo magnético que está asociado con las manchas solares.

Allá de estas variaciones cíclicas de 11 años, la radiación solar incidente en la Tierra tiene cambiado al largo de los últimos siglos en ciclos de más larga duración y que se debe a cambios internas en el Sol.



Secuencia de imágenes en Rayo-X del Sol de máximo al mínimo solar. Fuente: NGDC/NOAA.

Los cambios climáticos del último milenio pueden estar relacionados con la variabilidad de la luminosidad solar. Desde 1610 se tienen realizadas en Europa observaciones telescópicas y cálculo del apareamiento y desaparecimiento de manchas solares. Otras fuentes de información permiten volver al pasado más allá en el tiempo, especialmente los textos históricos de China, y con eso establecer períodos más remotos de máxima y mínima actividad solar.

Verifica-se que hay una clara relación entre el número variable de manchas solares y la intensidad del flujo de radiación solar que incide verticalmente situado teóricamente en el topo de la atmósfera. Denominase de "insolación solar total" o "constante solar".

En la actualidad este flujo, próximo de 1.367 W/m² oscila aproximadamente en 1,2 W/m² entre lo máximo y lo mínimo del ciclo. Eso supone una oscilación media global de aproximadamente 0,3 W/m² en la insolación media recibida en el topo de la atmósfera, ya que la "insolación solar total" se divide por una superficie esférica, cuya área es cuatro veces la área del círculo de interceptación.

La evolución del número de manchas solares y de la actividad solar, deducida de la concentración de carbono-14 en madera de los anillos de árboles y del berilio-10 en las sondeos de hielos, indica tener existido diversos períodos excepcionales de debilidad solar durante el último milenio. Son los períodos de **Wolf** (hasta el año 1300), **Spoerer** (hasta el año de 1500), **Maunder** (entre 1645 y 1715) y **Dalton** (1800 – 1830).

Mínimo de Maunder

De los períodos citados, lo más anómalo y más conocido es el ocurrido entre 1645 y 1715, llamado Mínimo de Maunder (en homenaje al su descubridor, Walter Maunder, 1893).

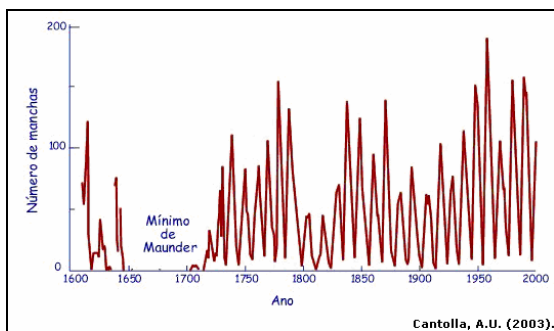
El número total de manchas solares observadas durante esto período fue inferior al actualmente observado en un único año. Durante el transcurrir, las manchas casi



desaparecieran por completo. En esos años ocurrirían, al menos en Europa, inviernos muy rigorosos, como el de 1694-1695.

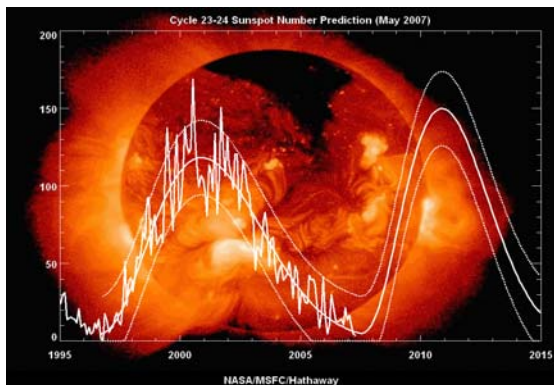
Científicos calcularon que la "constante solar" durante el Mínimo de Maunder era cerca de $3,5 \text{ W/m}^2$ menor que la actual, o sea, 0,24% más baja. Esto es perfectamente posible ya que en el estudio de estrellas similares al Sol se tiene observado variaciones de luminosidad aún mayores, de hasta 0,4 %.

Calcúlase que el enfriamiento global provocado por esta disminución de insolación, sería entre $0,2$ y $0,6^\circ \text{ C}$ en la superficie terrestre. Pero, en algunas regiones como el norte de las Américas y el norte de Europa el enfriamiento parece que fue mayor: entre 1° C y 2° C . Registros pasados de actividades de manchas solares revelar correspondencias intrigantes, como, por ejemplo, la asociación del Mínimo Maunder con Pequeña Edad del Hielo.



Número medio de manchas solares anuales, destacándose el mínimo de Maunder entre 1645 y 1715.

Recientes mediciones de irradiación solar indican que la salida de energía solar varía directamente con el número de manchas solares, o sea, más manchas solares significan un "Sol más brillante" (debido a un aumento concurrente en la actividad *facular*). Entonces mayor número de manchas solares puede llevar a una Tierra más calentada, asumiendo que todos los otros controles climáticos permanezcan constantes.



Previsión del número de manchas solares para el ciclo de 23 y 24 años hasta mayo de 2007. Fuente: MSFC/Nasa.

❖ Otras Perturbaciones Externas

Colisiones de cometas con la Tierra y impactos de meteoritos mucho grandes también son sugeridas como causas en las modificaciones climáticas.

Muchos de los disturbios que tales impactos podrían causar, como aumentos en los aerosoles estratosféricos y troposféricos, son similares a disturbios internos al sistema, que serán descritos a seguir.

Forzantes Climáticas Internas

La mayor preocupación actual se refiere a los posibles impactos de las actividades humanas, que operando en escalas de tiempo relativamente cortas, pueden crear cambios extremos en los próximos cien años. Ellas incluyen emisiones de gases de efecto invernadero, cambios en el uso del suelo y la disminución del ozono estratosférico.

Los únicos efectos naturales que son igualmente importantes en escalas de tiempo similares a las antropogénicas son actividades volcánicas y oscilaciones en la circulación oceánica profunda.

❖ Erupciones Volcánicas



En el transcurrir del Holoceno las erupciones volcánicas parecen tener ocasionado en escala global enfriamientos modestos y de corta duración.

Progresivamente están siendo descubiertas y datadas nuevas erupciones, hasta ahora desconocidas, y con esto está se avanzando para un mejor conocimiento de sus características.

Allá de los documentos históricos y de los métodos geológicos estratigráficos utilizados, también se usan como fuente de información los testimonios de hielo ("ice-cores") de Groenlandia y de Antártica.

La acidez anómala encontrada en algunos niveles de sondeos en hielo, permiten datar las deposiciones de aerosoles de sulfatos volcánicos, indicativas de grandes erupciones.

Tan importante como la intensidad de las erupciones y la altura alcanzada por las eyecciones, es su localización geográfica. Se fueron producidas en las latitudes tropicales, los aerosoles de sulfatos, en el caso de alcanzar la estratosfera, se distribuyen por todo el planeta, debido al movimiento de la circulación general de la atmósfera a esa altura que disloca de la región tropical hasta los polos.

Al contrario, se son producidos en latitudes altas, difícilmente pueden tener una repercusión global, ya que las eyecciones se sedimentan mucho antes.

Otras fuentes que pueden ser utilizadas en la detección y datación de erupciones volcánicas es la dendrocronología, especialmente el análisis de la evolución de densidad de la madera. El enfriamiento provocado por una erupción importante provoca un mínimo en la producción fotosintética y, por lo tanto, una carencia en la densidad de madera del anillo de crecimiento.

La erupción holocena más conocida y estudiada es probablemente a del volcán de **Santorini**, en Egeo, en 1600 Antes de Cristo (A.C.). Distribuyó sus cenizas especialmente por la región oriental mediterránea y tal vez tenga repercutido en la decadencia de la civilización de Creta por culpa de temores sísmicos y tsunamis que la acompañaran.

Posiblemente hubo también efectos climáticos globales, ya que fue detectada una mayor concentración de azufre y polvo en los estratos de hielo de Groenlandia correspondientes a aquello período.

En este último milenio una erupción muy importante fue a del volcán **Huaynaputina**, en Perú, ocurrida en los meses de febrero y marzo del año 1600 de nuestra era. Fueran depositados espesos sedimentos de cenizas volcánicas (*tefras*). Los registros históricos indican que la lluvia de cenizas alcanzó sitios que se encontraban a más de mil kilómetros de la cratera.

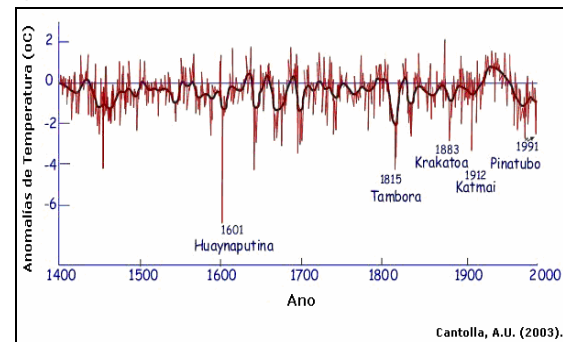
El lanzamiento estratosférico fue muy grande, de aproximadamente 70 millones de toneladas de SO₂. Calculase un enfriamiento de cerca de 0,8° C en hemisferio norte durante el verano después de la erupción.

Otra erupción también importante fue a del **Tambora**, en la Isla de Sumbawa, leste de Java, que ocurrió en Abril de 1815 y mató millares de personas. Lanzó aproximadamente 200 millones de toneladas de SO₂ en estratosfera.

La erupción del Tambora ha producido un enfriamiento significativo, especialmente en el leste de América del Norte y en Europa Occidental. La disminución térmica fue registrada por las mediciones instrumentales y documentos históricos. La grande serie de datos de temperaturas del observatorio de DeBilt, en Holanda, muestra que el año siguiente, 1816, fue 0,5° C más frío que la media de los cinco años anteriores.

La erupción dejó su marca en hielo de la Groenlandia y Antártica, cuyo en el sondeo aparece una fuerte concentración de azufre en estrato de nieve depositada en aquello año. Allá de eso, las series de densidad de la madera de anillos de árboles registraran en verano de 1816 como lo segundo más frío de los últimos 600 años.

Entretanto, el efecto climático de la erupción no duró mucho, pues los años siguientes, 1817 y 1818, fueran más calientes que los anteriores al ocurrido.



Evolución de densidad de madera en troncos de árboles del Hemisferio Norte desde el año 1400. Son registradas cuantas erupciones volcánicas conocidas, que coinciden con valores bajos de densidad.

Algunas décadas después, en 1883, aconteció otra de las erupciones más trágicas debido al número de pérdidas de vidas humanas: a del volcán **Krakatoa**, en oeste de Java. Los tsunamis que se sucedieran causaran 36.000 muertos. Entretanto, sus efectos climáticos no fueran muy importantes. Estimase que ha producido un enfriamiento temporal de aproximadamente 0,3° C en verano del hemisferio norte.

Ya en siglo XX, la erupción más intensa fue la del **Katmai**, en Alaska, en 1912. Expelió en torno de 15 km³ de magma, con columnas de cenizas y gases que alcanzaran 20 o 30 kilómetros de altura. Pero, sólo afectó climáticamente a las latitudes medias y altas del hemisferio norte. Segundo el meteorólogo ruso Budyko causó, entre Junio y Agosto de 1912, una disminución en radiación solar directa de 20% en Europa y en América del Norte y un enfriamiento de ~0,5° C, y en período más recientes, una erupción más importantes del milenio ocurrió en 15 de junio de 1991 en el Monte **Pinatubo**, en Filipinas.

❖ Oscilaciones en la Circulación Oceánica

La respuesta de los océanos a los cambios climáticos es muy más lenta se comparado a la atmósfera. Capas superficiales del océano responden a influencias externas y en una escala temporal de meses a años, mientras cambios en profundidades del océano son muy más lentos, pudiendo llevar siglos para que cambios significativos ocurran en grandes profundidades.



Como la agua tiene una capacidad calorífica mucho más elevada del que el aire, los océanos guardan cantidades muy grandes de energía, y no permiten grandes cambios sazonales de temperatura.

En grande escala, esto se refleje en las diferencias entre variaciones sazonales de temperatura de los hemisferios norte y sur. En escalas menores, la proximidad del océano es un factor que afecta el clima de una región. En realidad, este es el factor más importante después de latitud y de la elevación.

Actualmente, los océanos cobren 71% ($361 \times 10^6 \text{ km}^2$) de la superficie del planeta y así tiene una función muy importante en el balance de energía de la Tierra. Océanos son más extensos en el hemisferio sur, entre 30 y 70°S y menos en la región 50-70°N y al sur de 70°S. Esta distribuciones de tierra y mar s de grande importancia, pues es enormemente responsable por las diferencias en circulación atmosférica entre los dos hemisferios, y tiene implicaciones importantes para la glaciación del planeta.

En una escala global, las proporciones relativas de tierra y mar tienen cambiado poco durante el Cuaternario, a pesar de los cambios en nivel del mar debido al crecimiento y decaimiento de las glaciares continentales. Cuando el nivel del mar era 100 m abajo del nivel actual, la área oceánica ha sido reducida de apenas 3% (pero, esto equivale a un aumento de 10% en la área de la superficie terrestre).

Tales cambios tuvieron sin duda una importancia regional; en particular, cambios en el nivel del mar pueden tener tenido efectos en la circulación oceánica y seguramente deben tener influenciado el grado de continentalidade de algunas áreas.

Océanos desempeñan un papel crucial en el balance químico del sistema atmosférico, particularmente con relación a los niveles de dióxido de carbono (CO_2) atmosférico. Los océanos absorben CO_2 atmosférico de diversas formas: una parte como resultado de la fotosíntesis de fitoplancton, otra a través de procesos nutricionales que permiten que organismos marinos críen conchas o esqueletos de carbonato de calcio, y otra parte por difusión directa en la interfase océano/atmósfera.

La mezcla de aguas oceánicas provoca la redistribución del CO_2 absorbido. En latitudes polares, por ejemplo, el carbono adicionado ahonda junto con las aguas superficiales frías en aquella región, mientras que en las latitudes más calientes las aguas ricas en carbono dejan escapar el CO_2 para la atmósfera nuevamente.

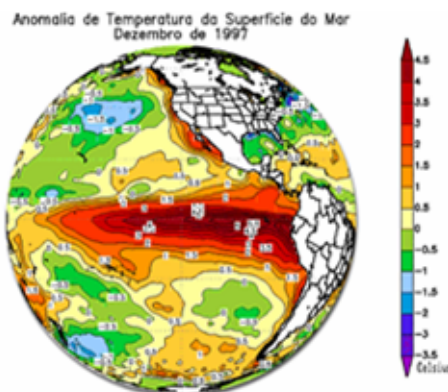
Como los océanos contienen grandes cantidades de CO_2 en solución, mismo una pequeño cambio en balance de CO_2 oceánico puede tener profundas consecuencias para el saldo de radiación de la atmósfera, y consecuentemente para el clima.

La función de los océanos en cambios globales de CO_2 es de fundamental importancia, no sólo para el entendimiento de los climas pasados, como también para conocer las tendencias futuras del CO_2 en atmósfera.

❖ El Niño-Oscilação Sul (ENOS)

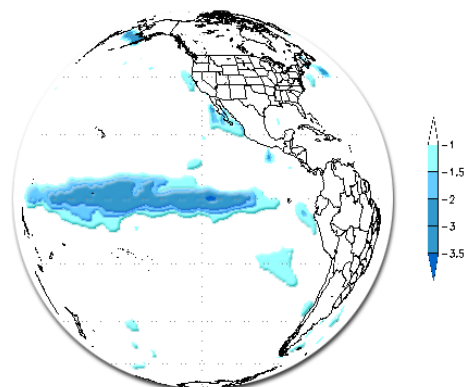
Una componente del sistema climático de la tierra es representada por la interacción entre la superficie de los océanos la baja atmósfera adyacente a él. Los procesos de cambio de energía y humedad entre ellos determinan el comportamiento del clima, y alteraciones de estos procesos pueden afectar el clima regional y global.

El Niño representa el calentamiento anormal de las aguas superficiales y subsuperficiales del Océano. La palabra El Niño es derivada del español, y se refiere a la presencia de aguas calientes que aparecen periódicamente en la costa norte de Perú en la época de Natal, en referencia al niño Jesús.



Notase la región en el Pacífico Central y Oriental con valores positivos, indicando la presencia del El Niño².

El termo La Niña surgió, pues, el fenómeno se caracteriza por ser contrario al El Niño. Puede ser llamado también de episodio frío, o aún El Viejo.



Anomalías de temperaturas negativas de la superficie del mar en diciembre de 1988, indicando evento de La Niña².

² Oliveira, G.S., 2001. O El Niño e Você – o fenômeno climático. Editora Transtec, São José dos Campos, SP.



Eventos de El Niño y La Niña tienen una tendencia de alternar a cada 3-7 años. Pero, de un evento a otro el intervalo puede cambiar de 1 hasta 10 años. Las intensidades de los eventos varían bastante de caso a caso. Los El Niño más intensos desde la existencia de "observaciones" de Temperatura de Superficie del Mar (TSM) ocurrieron en 1982-83 y 1997-98. Algunas veces, eventos El Niño y La Niña tienden a ser intercalados por condiciones normales.

Quizás la mejor manera de referirse al fenómeno El Niño sea por el uso de la terminología ENOS (El Niño-Oscilación Sur), que incluye características oceánicas y atmosféricas, asociadas al calentamiento anormal del océano Pacífico tropical.

ENOS representa de manera más amplia un fenómeno de interacción atmósfera-océano, asociado a alteraciones de patrones normales de TSM y de vientos alisios en región del Pacífico Ecuatorial, entre la Costa Peruana y en el Pacífico Oeste próximo a Australia. Allí de índices basados en los valores de TSM en Océano Pacífico ecuatorial, el fenómeno ENOS puede ser también cuantificado por el Índice de Oscilación Sur (IOS).

Este índice representa la diferencia entre la presión al nivel del mar entre el Pacífico Central (Tahití) y el Pacífico del Oeste (Darwin/Australia). Él está relacionado con los cambios en circulación atmosférica en niveles bajos de la atmósfera, consecuencia del calentamiento/enfriamiento de las aguas superficiales en la región.

Valores positivos y negativos de IOS son indicadores de la ocurrencia del El Niño y La Niña, respectivamente.

En actualidad, las anomalías del sistema climático que son mundialmente conocidas como El Niño y La Niña representan una alteración del sistema océano-atmósfera en el Océano Pacífico tropical, y que tiene consecuencias en el tiempo y en el clima en todo el planeta.

En esta definición, considerase no solamente la presencia de las aguas calientes como también los cambios en la atmósfera próxima a la superficie del océano, con el enflaquecimiento de vientos alisios (que soplan de leste para oeste) en la región ecuatorial.

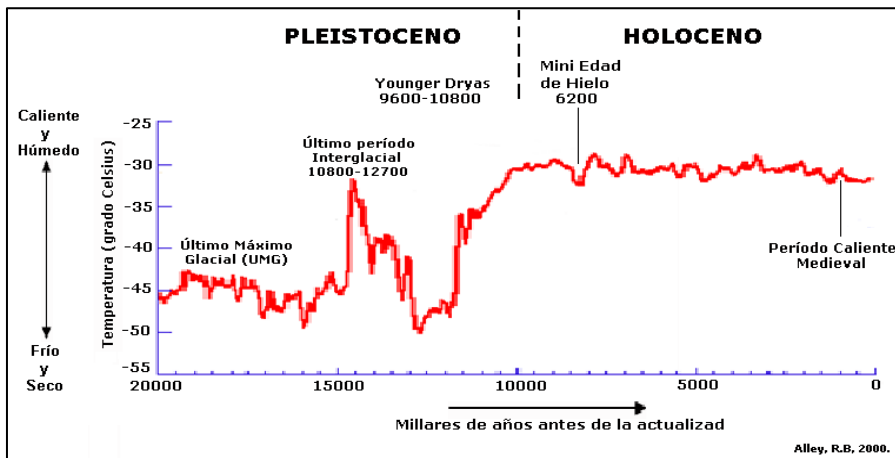
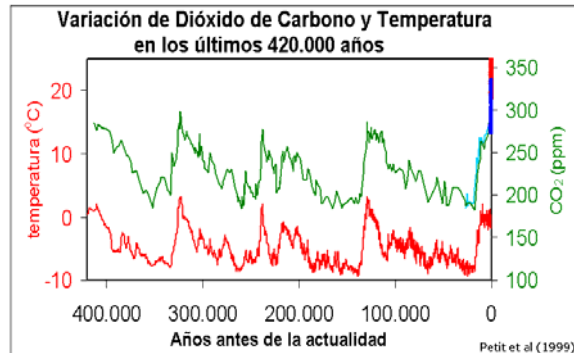
Con eso calentamiento del océano y con el enflaquecimiento de vientos, empiezan a ser observados cambios de la circulación de la atmósfera en los niveles bajos y altos de atmósfera, determinando cambios en patrones de transporte de humedad, y, por lo tanto, variaciones en la distribución de las lluvias en regiones tropicales y de latitudes medias y altas.

En algunas regiones del globo también son observados aumento o caída de temperatura. La figura abajo muestra la situación observada en diciembre de 1997, en el pico del fenómeno El Niño 1997/98.

Evolución Natural del Clima

Actualmente estamos en el cuarto período interglacial de los últimos 420.000 años. Desde la última glaciación de Würm (10.000 - 15.000 años) hay un calentamiento progresivo del planeta (período holoceno), uno de los más largos registrados.

La civilización actual es consecuencia de la interacción entre el clima y el ser humano. El curso de la historia de la civilización humana tiene sido una continua adaptación al clima.



EVOLUCIÓN NATURAL DEL CLIMA Y SU INFLUENCIA EN LA CIVILIZACIÓN HUMANA

A. 16000 – 13000 a.C. Rápida retirada de hielos para los Polos. El hombre de Cromagnon aparece en Europa y ocurren los primeros asentamientos en nordeste de Siberia.

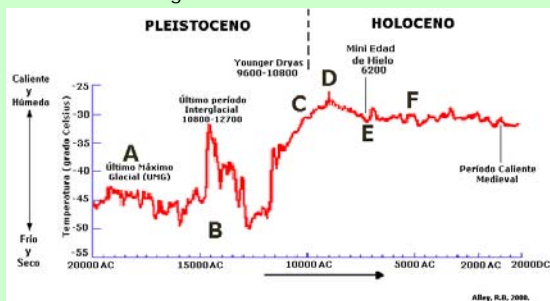
B. 13000 – 11000 a.C. Rápido calentamiento. Desarrollo de las florestas europeas. Emigración de poblaciones a través del estrecho de Bering. Hasta 11.000 a.C. cesa la circulación oceánica del Atlántico y comienza una era de frío.

C. 11000 – 9000 a.C. El período empieza con frío en Europa y sequías en sudeste asiático, para entrar en el periodo Holoceno con un calentamiento generalizado y condiciones más húmedas. Vuelta a funcionar la circulación oceánica del Atlántico y ocurre desarrollo de la agricultura en el sudeste asiático.

D. 9000 – 6000 a.C. Desarrollo de la agricultura en sudeste asiático.

E. 6000 a.C. Mini-Edad de Hielo. Colapsa una capa de hielo Laurentide en norte del Canadá que incrementó el nivel del mar y colapsa la circulación oceánica Atlántica. Con eso, retorna el frío en Europa y en América del Norte, y las sequías en sudeste asiático, lo que provoca una emigración generalizada.

F. 5000 – 3000 a.C. Desarrollo de ciudades en Mesopotámica, unificación del reino del Egipto (formado por nómades emigrados del desierto de Sahara que al crecer empujó sus habitantes para leste).



"Paisaje de invierno con portañola para pájaros" del pintor flamenco Peeter Brueghel "El Viejo" (siglo XVI).

3000 – 0. Diversos imperios (Hititas, Egipto, etc.) crecen y colapsan al se depararen con grandes períodos de sequía (probablemente debidos a episodios de El Niño).

0 – 500 d.C. Época del Imperio Romano. Período húmedo y caliente donde subió el nivel del mar. Inviernos suaves con temperaturas medias en torno de 2 - 3° C más que ahora.

~600 d.C. Caída del Imperio Romano al bajar para el Sur, donde los bárbaros escaparan del avance del hielo en sus tierras. Posibles explosiones de un volcán. Período de frío alto-medieval. Penetración de frío en el Mediterráneo que lleva a ruina de los cultivos de esa región.

700-1200 d.C. Período caliente. Propagación de peste por la Europa. Los Vikings llegan a Groenlandia ("Tierra Verde"). Probablemente llegan también en América. Grandes sequías en oeste de América del Norte, América Central y Sudamérica que provocaron el final de civilizaciones como Maya, Tiwanaku, etc.

1.400-1.700 d.C. (Siglos XV-XVIII) Pequeña Edad de Hielo. Temperatura 2.5° C más baja que actual. Glaciales avanzan y ríos europeos se congelan. El negocio de hielo y nieve era bastante rentable. El fin del siglo XIX ocurre un calentamiento global de la atmósfera coincidiendo con el inicio de la Revolución Industrial.

2005. La ciudad de Nueva Orleans, EE.UU., es completamente inundada debido a pasaje del huracán Katrina exigiendo el cambio de millares de sus habitantes.

Texto extraído de Vicente P. Muñuzuri. Disponible en: http://chaos.usc.es/Web_MeteoClima

Cambios Inducidos por el Hombre

Antes de presentarnos las causas internas antropogénicas, deberemos describir el principal factor de la existencia de vida en nuestro planeta: Efecto Invernadero.

Efecto Invernadero Natural

El planeta Tierra presenta ciertas características que lo tornan único en el Sistema Solar.

La atmósfera terrestre, por su composición y estructura, interacción simultáneamente con la radiación solar y la superficie terrestre, estableciendo un sistema de cambios energéticos que explica muchos fenómenos que afectan la vida en el planeta.

Se no tuviera el efecto invernadero, la temperatura media sería aproximadamente 34° C inferior a temperatura media observada actualmente que es de 15° C.

Ese valor es calculado de la siguiente manera: la radiación solar incidente mediada sobre el planeta es dada por:

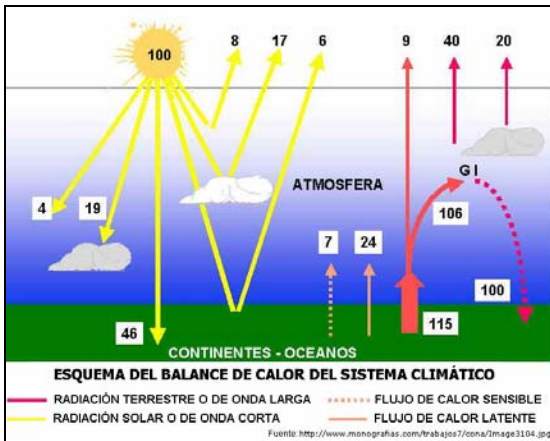
$$\frac{S\pi r^2}{4\pi r^2}$$

Donde r = radio de la Tierra; $4\pi r^2$ = área de la superficie de la esfera; S = Constante solar. Como $S = 1.367 \text{ W/m}^2$, este valor $R_D (S/4)$ es 342 W/m^2 .

Para ilustrar la interacción entre radiación en la atmósfera será considerado R_D como 100 unidades arbitrarias, distribuidas como sigue:

- 4 son absorbidas en la estratosfera principalmente por el ozono.
- 19 son absorbidas en la troposfera (1 unidad por el dióxido de carbono, 13 por el vapor de agua, 2 por polvos y 3 por gotas de agua en nubes).
- 17 son reflejadas para el espacio a partir de las nubes.
- 6 son reflejadas para el espacio por la superficie.
- 8 son reflejadas para el espacio por la dispersión atmosférica.
- 46 son absorbidas por la superficie de los océanos y de los continentes.

A energia absorvida (E_A) pelo sistema climático terrestre (69 unidades) é convertida em calor, movimento da atmosfera e dos oceanos (energia cinética), e energia potencial.



Usando a Lei de Stefan-Boltzmann (a energia total emitida por um corpo negro é proporcional a quarta potência de la temperatura absoluta do corpo):

$$F = \sigma T^4 \quad (1)$$

dónde $\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$ (constante de Stefan-Boltzmann) y temperatura (K).

Se puede entonces calcular cual seria la temperatura de la atmósfera terrestre sin la presencia del efecto invernadero:

$$T = \sqrt[4]{\frac{E_A \cdot x R_D}{\sigma}}$$

$$T = \sqrt[4]{\frac{(0,69 * 342 \text{ Wm}^{-2})}{(5,67 * 10^{-8} \text{ Wm}^{-2} \text{ K}^{-4})}} = 254 \text{ K} = -19^\circ \text{ C}$$

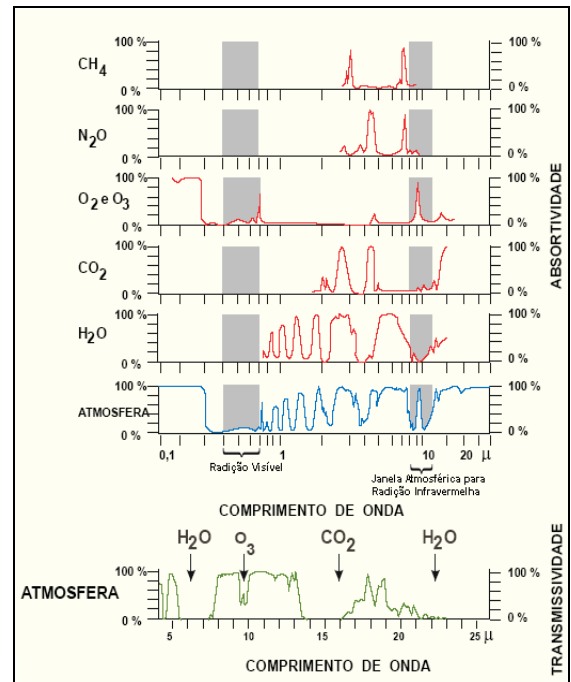
Por lo tanto, la atmósfera funciona como una capa protectora, calentando el planeta y manteniendo un balance constante entre la radiación solar absorbida y el calor reflejado de vuelta para el espacio en forma de radiación infrarroja.

La atmósfera terrestre es una mezcla de gases, con predominancia de nitrógeno (78%) y oxígeno (21%), donde estos gases prácticamente absorben radiación infrarroja. Sin embargo, hay otros gases en ella presentes que debido a naturaleza química, principalmente estructura molecular, absorben y re-emiten una fracción significativa de la radiación infrarroja emitida por la superficie terrestre. Eses gases son conocidos como gases de efecto invernadero (GEI).

Los principales gases naturales de efecto invernadero son: vapor de agua que causa 36-70% del efecto estufa sobre la Tierra (no incluyendo las nubes); dióxido de carbono que causa 9-26%; metano que causa 4-9% y ozono que causa 3-7%. Hay otros gases de efecto invernadero como óxido nitroso, hexafluoruro de azufre, hidrofluorcarbonos, perfluorcarbonos y clorofluorcarbonos.

Cabe resaltar que no es posible decir con certeza que un cierto gas cause un cierto porcentaje del efecto invernadero, porque las influencias de los varios gases no son aditivas. (Los valores más altos de las variaciones citadas son sólo para el gas; los más bajos, para la superposición del gas).

En resumen, grande parte del efecto invernadero natural se debe a la presencia de la concentración de agua en la atmósfera: vapor de agua (85%) y partículas de agua (12%).



Porcentaje de Radiación Solar que es Absorbida y Transmitida por Algunos Gases Atmosféricos y de Atmósfera. Adaptado de Varejão-Silva (2005)³.

El efecto invernadero siempre existió y su presencia es de extrema importancia para la mantenimiento de la vida en el planeta. Pero, lo que preocupa actualmente es su intensificación, en consecuencia de un aumento de la concentración de los GEI en atmósfera.

Así, el aumento del contenido atmosférico de los gases de efecto invernadero podrá llevar a un mayor bloqueo de la radiación infrarroja y, consecuentemente, podrá causar una intensificación del efecto invernadero: calentamiento de la atmósfera y aumento de la temperatura de la superficie terrestre.

³ Varejão-Silva, M.A., 2005, Meteorologia e Climatologia, Versão Digital, Recife, Pernambuco, PE, Brasil, INMET/MAB, 522 p.

Efecto Invernadero Intensificado

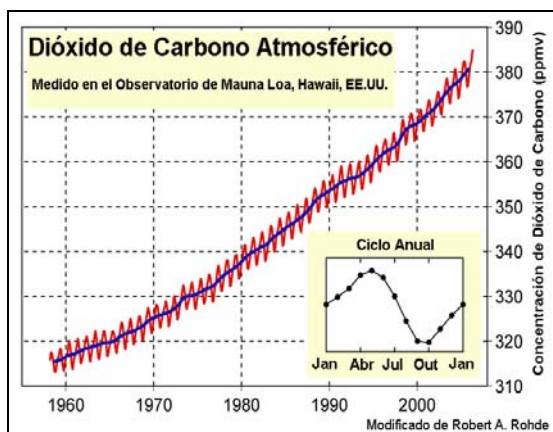
El cambio del clima es normalmente confundido con calentamiento global porque una de las consecuencias más probables de la existencia de concentraciones mayores de GEI en atmósfera es altas temperaturas medias.

Las actividades humanas como la quema de combustibles fósiles puede estar elevando la concentración de gases del efecto invernadero, intensificando así el efecto invernadero natural.

Entre los gases liberados en la atmósfera por las actividades humanas, un de los más importantes para el aumento de GEI es dióxido de carbono (CO₂). CO₂ está bien mezclado en atmósfera con una razón de mezcla casi uniforme de, actualmente, 385 parte por millón (ppm).

Las concentraciones de CO₂ aumentaran cerca de 31% desde el inicio de la revolución industrial (final del siglo XVII) cuando su razón de mezcla era de 277 ppm.

Esta información es evaluada teniendo en cuenta la realización de medidas directas obtenidas desde el final de la década de 1950 y, indirectamente, debido a las burbujas de aire aprisionadas en el hielo de grandes glaciares en las montañas y en las regiones polares, que son indicadas a través de la relación ¹⁶O/¹⁸O.



Notase que la tasa de aumento tiene sido en media 1 ppmv/año, pero tienen aumentado 1,5 ppmv/año en los años recientes, parcialmente en respuesta a las tasas de quema de combustibles fósiles (petróleo, carbón mineral, gas natural, turba etc.).

Allá de esta fuente antropogénica hay también importantes permutas de CO₂ con los océanos y la biosfera. Las interacciones con la biosfera ocurren a través de la fotosíntesis y procesos de oxidación. El efecto neto del deforestación, como la reducción de las forestas tropicales, el uso extensivo de fertilizantes, y el decaimiento general de la materia orgánica pueden constituir con una pequeña fuente de CO₂ atmosférico comparado al "input" de combustibles fósiles, pero aún es considerable.

A fin de comparar esta contribución relativa de cada gas de efecto invernadero fue creado un índice llamado Potencial de Calentamiento Global (GWP – Global Warming Potential, en inglés).

Este índice representa el potencial que un kilogramo de un gas invernadero tiene para retener radiación infrarroja (directa o indirectamente) en comparación a un kilogramo de dióxido de carbono, utilizado como gas de referencia, en un determinado periodo de tiempo.

Así, de acuerdo con Forster et al. (2007)⁴ el GWP para un horizonte de 100 años, observase que el CH₄ absorbe cerca de 25 veces más radiación infrarroja del que CO₂; el N₂O absorbe 298 veces más y el hexafluoruro de azufre es lo que posee mayor capacidad de absorción, en torno de 22.000 veces más absorbedor del que CO₂.

Después de CO₂, metano (CH₄) es lo gas más importante del efecto invernadero. El metano es producido por bacterias en el aparejo digestivo del ganado, terraplenes sanitarios, plantíos inundados, minería y quema de biomasa. También son producidas por plantaciones de arroz, digestión de biomasa, manejo de residuos, manipulación de combustibles fósiles y pérdidas de gas natural.

A pesar de tener un tiempo de permanencia en atmósfera de cerca de 15 años, él contribuye con aproximadamente 10% del efecto invernadero y absorbe 25 veces más calor que CO₂. Su concentración desde el período preindustrial, que era de 700 ppbv aumentó en 140%.

Desertificación, Deforestación y Cambio en el Uso del Suelo

El hombre viene efectuando cambios en escala regional en las características de la superficie del planeta. Esos cambios incluyen desertificación, reforestación y deforestación, y urbanización.

Los expertos en modelos climáticos tienen investigado los efectos climáticos de tales mudanzas en la naturaleza de la superficie continental de la Tierra.

La desertificación es un problema que afecta millones de personas. La vegetación natural dispuesta en áreas áridas y semiáridas puede ser fácilmente removida por la influencia directa de la actividad humana como pastajes excesivos o pobres prácticas agrícolas.

⁴ Forster, P., V. Ramaswamy, P. Artaxo et al., 2007. Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.



La retirada de vegetación y la exposición del solo desnudo disminuyen la reserva de agua en el solo debido al aumento del escurrimiento superficial y aumento del albedo. Menor humedad disponible a la superficie implica en decrecimos de flujo de calor latente, llevando a un aumento en la temperatura a la superficie.

Por otro lado, el aumento de albedo produce una pérdida radiactiva neta. En los cálculos de los modelos climáticos el último efecto parece dominar, y el déficit de radiación causa subsidencia de grande escala. En este aire descendente, la nebulosidad y la precipitación son inhibidas y la aridez podría aumentar.

Incertidumbres Sobre Pronósticos Actuales del Cambio Climático

La actual cualidad de los pronósticos del estado de la atmósfera para los próximos días, y su disponibilidad global, está seguramente entre los grandes sucesos de la Ciencia y la Tecnología del siglo XX.

Hacer pronósticos con más de una semana es, entretanto, un problema completamente diferente. Desde la década de 1960, aún antes de se tener tornado operacional la previsión del tiempo por integración de las ecuaciones de mecánica de fluidos, que se sabe que no es posible se prever la evolución del estado de la atmósfera para períodos superiores a cerca de dos semanas.

Esa imposibilidad, inicialmente demostrada por Edward Lorenz en un trabajo que estuvo en el origen del desarrollo del concepto de Caos, resulta de la naturaleza de las ecuaciones de la atmósfera, caracterizadas por una grande sensibilidad a las condiciones iniciales, siempre conocidas con alguno error.

Así, sean cuales fueren la calidad del modelo usado y el poder de cálculo disponible, existe siempre un limite, relativamente corto, para la previsibilidad atmosférica.

No embargo, prever el Tiempo no es la misma cosa que prever el Clima. El Clima es una media de muchos estados de Tiempo y nosotros no conocemos el sistema de ecuaciones diferenciales que esa media debe satisfacer. Logo, es posible que el Clima pueda ser "previsto" a largo distancia.

Pero ¿se no conocemos las ecuaciones como lo podemos prever? Muy "simples": usamos un modelo de previsión de tiempo para hacer pronósticos largos (por veces cien o más años), pero, en vez de analizarnos los estados instantáneos producidos por eso modelo, que sabemos no sean pronósticos aceptables día a día, calculamos medias longas sobre esos estados, del mismo modo que calculamos el clima a partir de las observaciones.

La razón pela cual esta metodología de análisis de la evolución climática se tornó importante es el facto de la concentración de gases invernadero tener venido a aumentar rápidamente en el último siglo, previéndose la continuación de ese aumento en el próximo siglo. Ora, la concentración de gases de efecto invernadero es un de los elementos esenciales de controle del sistema climático.

Es claro que no es posible prever con precisión la concentración futura de gases invernadero, visto que ella depende de factores desconocidos como la evolución demográfica, tecnológica, económica y social del Mundo.

La importancia del problema justificó la creación de una estructura intergubernamental en las Naciones Unidas que estableció un conjunto de escenarios para evolución futura de las emisiones de gases invernaderos.

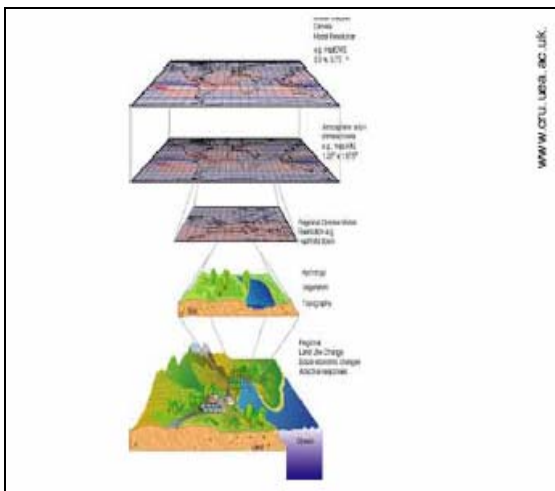
Los escenarios no son previsiones. Las diferencias de calentamiento calculadas en los varios escenarios, por diferentes modelos, indican a nosotros que hay bastante incertidumbre cuanto al futuro. Pero, la tendencia para el calentamiento global es consistente. No sólo está prevista en todos los casos como constituye el resultado más simple de aquello que es hasta el momento inevitable: un crecimiento significativo de las concentraciones de los gases invernaderos en las próximas décadas.



La mayor incertidumbre sobre el Clima futuro relacionase con el ciclo de agua. De facto, el vapor de agua es lo más importante gas invernadero y las nubes participan en el controle radiactivo del planeta, contribuyendo tanto para el efecto invernadero, calentando la superficie, como para el albedo (reflexión de radiación solar), enfriándola. Una grande parte de la investigación actualmente en curso con vista a mejoría de los modelos climáticos se refiere al estudio del papel de las nubes y de su representación en modelos.

Las incertidumbres asociadas a la modelaje del sistema climático, para definir padrones de alteración en el espacio y en el tiempo, predominan en la sociedad y en la comunidad científica. Mientras tanto existen certezas cuanto a la ocurrencia de alteraciones climáticas.

Actualmente los modelos climáticos para prever las alteraciones climáticas existen apenas en escala global o continental. Las consecuencias prácticas causadas por el calentamiento global en un país o región continúan una incógnita.



Nuevos escenarios climáticos a través del modelo HadRM3.

Dilemas y Cuestiones aún no Respondidas

A pesar de también existen factores naturales (volcanes, tempestades solares, meteoritos, ciclos de Milancovich etc.) que imprevisiblemente pueden causar cambios en el clima del planeta, el cumplimiento por los diferentes países de medidas previstas en los protocolos de la Convención Cuadro de ONU es fundamental para minimizar posibles cambios del clima y para que la humanidad consiga un desarrollo sostenible que garantiza la continuidad de la vida en nuestro planeta.

La discusión entre los expertos se centra en las posibles causas del Calentamiento Global. Bastante es lo que se escribe y se teoriza sobre "el efecto invernadero intensificado", "el agujero de la capa de ozono", "el deforestación de las florestas tropicales", entre otras causas relacionadas con las acciones humanas.

La actual insuficiencia de conocimientos con relación a una concepción adecuada de la totalidad de los mecanismos intermedios impide de saber con certeza se las alteraciones que actualmente presentan el en Sistema Climático Terrestre son productos del comportamiento natural o de actividades humanas que desestabilizan su equilibrio dinámico.

En vista de esa situación, tornase evidente la necesidad de seguir diferentes líneas de investigación con referencia a esto problema. La cuestión esencial es saber se los conceptos actuales son capaces de explicar la realidad meteorológica y climática, es decir, se son capaces de explicar simultáneamente el estado del tiempo y el clima, en todas las escalas de espacio y de la duración temporal. La respuesta inmediata es no.

Según el IPCC "Existen pruebas de que las alteraciones climáticas ya empezaron" y son acrecentados que "La evolución de las temperaturas desde hace algunas décadas corresponde al calentamiento previsto por los modelos debido al efecto invernadero".

El principal argumento bajo lo cual se fundamenta esta "certeza" reside en las curvas de temperaturas reconstituidas a partir de las observaciones, es decir, de las medias a la escala planetaria o hemisférica – hemisferio Norte y hemisferio Sur – (3 curvas publicadas todos los años por la Organización Mundial de Meteorología - OMM).

La cuestión es saber se el hombre es capaz de influenciar, involuntariamente, el curso de la evolución climática, afectando la escala planetaria y, sobretudo, se desde hace un siglo él ya empezó a hacerlo.

El vapor de agua allá de representar el mayor potencial del efecto invernadero, también constituye la mayor fuente de incertidumbre, debido a su grande variabilidad espacial y temporal. Pero, debido al facto de modelos climáticos hicieran intervenir las nubes y las precipitaciones, que son particularmente complejas, la amplitud precisa de la respectiva retro-alimentación – fenómeno crucial – aún permanece desconocida.

Alá de eso, es necesario juntar la incertidumbre asociada a nebulosidad, cuyos efectos son contrarios de acuerdo con la altitud de las nubes que tanto pueden enfriar como calentar la superficie terrestre. Todavía, el problema fundamental no es prever el clima en 2100, pero determinar las causas de ese desvío climático.

El calentamiento global es un asunto que está en la moda. Inicialmente asunto de la Climatología, esto tema se amplió para todas las esferas de la sociedad e como siempre teniendo dos lados de la moneda: el lado positivo es debido a se hablar bastante sobre el tema. El lado negativo es que se construyen paradigmas con informaciones erradas y con eso as veces perpetúan junto a la sociedad informaciones desencontradas y regadas de emoción, evolucionando para el alarmismo al perder su contenido científico.

Como el calentamiento global es un tema extremadamente complejo, su evolución futura es presentada como un postulado y quien poner dudas sobre eso queda clasificado como favorable a la contaminación o como "loco, mal intencionado".

El sensacionalismo y la seriedad científica, la procura del furo periodístico y la información debidamente fundamentada, cada vez más está confundiendo las personas, principalmente porque los políticos y/o los medios de comunicación ayudan a ampliar la confusión. Pero ciertos científicos no mejoran la situación cuando hacen declaraciones despropositadas.

El debate, se él existe, se inscribe igualmente, y es eso que hace su suceso, en el mito antiguo que es el conocimiento popular acerca del tiempo. Cada uno tiene su saber sobre el asunto. Quedase muchas veces próximo del pensamiento mágico y de las discusiones del tipo de la mesa de café. No se hace la distinción entre clima y evolución del tiempo. Algunos también pretenden coronar los modelos de misterios como se fueran máquinas de producir el tiempo.

Los conocimientos actuales sobre climatología son en general limitados, lo que es reconocido implícitamente por el IPCC cuando menciona que "La aptitud de los científicos para hacer verificaciones de las proyecciones provenientes de los modelos es bastante limitada debido los conocimientos incompletos sobre las verdades climáticas".

Las explicaciones son muy simplificadas, así ellas no reflejen la verdad científica como un todo, que es extremadamente compleja. Este conocimiento superficial y esquemático es primeramente impuesto por las "simplificaciones inevitables transportadas para los modelos", modelos que no pueden integrar todas las componentes de los fenómenos climáticos.

Concluimos que lo conocimiento científico sobre este tema no puede ser substituido por la convicción del género "estoy convencido de que el calentamiento global del planeta es una realidad", o "¿hay quién no acredite en el calentamiento global?" pero con fundamentos científicos claros debatidos por todos.

Finalmente, todos deben contribuir para que nosotros podamos continuar teniendo un cielo más azul.



Para Conocer Más:

CANTOLLA, A.U. **Historia del Clima de la Tierra**. 1ª edición, Servicio Central de Publicaciones del Gobierno Vasco, 2003. 306p.

IPCC, 1995. **Mudança do Clima 1995: A Ciência da Mudança do Clima**. Parte da contribuição do Grupo de Trabalho I ao Segundo Relatório de Avaliação do IPCC, 56 p.

IZIQUE, C.; MARQUES, F. **Caminhos da Mudança**. Revista Fapesp, No. 130, 2006. pp. 26-34.

MOREIRA, A.G.; SCHWARTZMAN, S. **As Mudanças Climáticas Globais e os Ecossistemas Brasileiros**. Brasília, IPAM, WHRC, Environmental Defense, 2000. 165p.

MOURA, R.G., Mitos Climáticos. Disponível em <http://mitos-climaticos.blogspot.com/>.

OMM/INMET, 2004. **Cuidemos de Nosso Clima**. Cartilha da OMM No. 975, traduzida pelo INMET, 36 p.

PNUMA, 2003. **Carpeta de Informação sobre el Cambio Climático**. Suiza, PNUMA/UNFCCC, 64 p.

Portales Interesantes:

AMBIENTE BRASIL:

<http://www.ambientebrasil.com.br>

Centro del Clima:

<http://www.centroclima.org.br>

IPCC: <http://www.ipcc.ch>

INMET: <http://www.inmet.gov.br>

FBMC: <http://www.forumclima.org.br>

IPAM: <http://www.ipam.org.br>

ISA: <http://www.isa.org.br>

Instituto Brasil PNUMA:

<http://www.brasilpnuma.org.br>

MCT/Cambios Climáticos:

<http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/3881.html>

MMA: <http://www.mma.gov.br>

OMM: <http://www.wmo.ch>