

## Fundamentos científicos del cambio climático

**Autor: Celestino Olalla - 17-04-2013**

<https://vinculando.org/ecologia/fundamentos-cientificos-del-cambio-climatico.html>

En la escala global, pocos acontecimientos despiertan tanto interés en la opinión pública como el llamado Cambio Climático. Infinidad de voces, empezando por Naciones Unidas, nos alertan sobre las graves consecuencias de éste proceso pero, ¿realmente comprendemos lo que quiere decir?, y más aún, ¿está el hombre en condiciones de explicar los orígenes y consecuencias del mismo?.

Quizás sea conveniente empezar recordando la historia vivida por nuestro planeta a lo largo de sus más de 4.500 millones de años de existencia, aunque les prometo que de forma abreviada.

Inicialmente la tierra era un lugar inhóspito para todo tipo de vida, con gases tóxicos junto con continuos y violentos episodios telúricos.

Desde que hace algo más de 2.500 millones de años aparecieran en el océano las primeras y muy básicas formas de vida (con su acción de fotosíntesis oxigénica empezaron a aportar el oxígeno necesario para el posterior desarrollo de la vida), la relación entre éstas y el clima ha sido tan estrecha, que las variaciones climáticas que se han ido produciendo han implicado severos reajustes en el desarrollo evolutivo de la biosfera y de los distintos habitantes que ha tenido a lo largo de la historia.

Cambios en las condiciones climatológicas y posiblemente en la composición de la troposfera (la parte respirable de la atmósfera que se encuentra en contacto con la tierra), provocaron hace unos 400 millones de años la primera extinción masiva de las formas de vida de aquel momento.

Unos 150 millones de años después se estima que Pangea, la tierra que emergía del inmenso océano que cubría el planeta, comenzó su viaje alrededor de la superficie para formar el mapamundi que hoy en día conocemos. Quizás su influencia en las modificaciones de las corrientes marinas, episodios sísmicos o quizás el cambio a un clima distinto al continental que existía hasta ese momento, provocó la segunda gran extinción de las cinco que se encuentran documentadas a lo largo de la historia.

Hace unos 65 millones de años, otra enorme convulsión le estaba esperando a este planeta. Según las tesis más comúnmente aceptadas, un meteorito de grandes proporciones impacto contra la tierra. Se estima que la enorme energía producida en el choque, junto con la suposición de que éste ocurrió sobre una zona caliza, liberó a la atmósfera de forma casi instantánea una gigantesca cantidad de CO<sub>2</sub>. Ésta hipótesis se ve refrendada por los estudios paleobotánicos, ya que se han detectado en hojas fósiles un incremento notable de los niveles de CO<sub>2</sub> en esa época.

La variación climática que éste hecho produjo, quizás en apenas unas décadas, motivó otra extinción masiva que afectó fundamentalmente a las criaturas de más de 35Kg, con los dinosaurios a la cabeza.

Aproximadamente diez millones de años después, ya metidos en el Terciario, nuevamente la Tierra se enfrentó a un episodio dramático con consecuencias nefastas para los seres vivos.

Los científicos han supuesto que una enorme erupción volcánica tuvo lugar en esas fechas, pero con la particularidad de que ésta debió producirse en el fondo marino atravesando una gran bolsa de hidrocarburos, lo que provocó la emisión de una inusitada cantidad de CO<sub>2</sub> al océano y la atmósfera, induciendo una subida en las temperaturas de entre 5 y 10°C. Un brusco incremento de las temperaturas que varió de forma importante las condiciones de la biosfera y de sus habitantes, provocando la desaparición de un número importante de especies.

En éste caso, las pruebas fueron encontradas en el fondo del océano Pacífico cuando los científicos perforaban su lecho en busca de información sobre tiempos pasados. A unos dos mil metros de profundidad, la correspondiente a sedimentos de hace 55 millones de años, encontraron una capa de 25 cm. totalmente atacada por el ácido, lo que demostraba que el océano se había vuelto inusualmente ácido en aquel período, fenómeno que ocurre cuando la absorción y concentración de CO<sub>2</sub> es elevada en las aguas marinas.

De hecho, según sus cálculos, los índices de CO<sub>2</sub> que se alcanzaron en la atmósfera pasaron de las 500 partes por millón habituales en aquella época, hasta cerca de 2.000 ppm, y además en un breve período de tiempo, lo que incrementó drásticamente las temperaturas y modificó sustancialmente las condiciones climatológicas, obligando a infinidad de criaturas a tomar nuevamente el camino de la extinción.

Pero no solo se han sufrido episodios de calentamiento en la historia de este planeta, periódicamente se han sucedido épocas de bonanza climática con otras de casi completa glaciación, lo que necesariamente indica que los niveles de CO<sub>2</sub> en la atmósfera han variado de forma sensible, provocando oscilaciones a lo largo de millones de años en la temperatura que pueden haber alcanzado los 20°C.

No obstante, la simple intervención de éste gas sobre el clima parece que no hubiera sido suficiente como para generar tales variaciones. Los científicos siempre han tratado de buscar respuestas a tan importantes variaciones de las temperaturas, y lo han hecho investigando tanto las posibles causas endógenas al planeta, como las provenientes del exterior.

## **Factores que influyen en el clima**

Una infinidad de factores tienen influencia sobre nuestro clima, y posiblemente aún no los conocemos todos ni sabemos exactamente como, en distintas combinaciones, interactúan sobre el

clima.

No obstante, existe certeza sobre un número importantes de variables que tienen una incidencia clara en el clima.

Trataré de explicarles los que la ciencia entiende como más representativos frente al clima:

## Los ciclos de Milankovic

Sabemos que a lo largo de la historia se han producido sucesivas etapas de glaciación y deshielo en nuestro planeta, comprimiendo ó expansionando las formas de vida.



Los científicos siempre se han preguntado que fenómeno podría estar detrás de estos ciclos climáticos que llevan a la superficie terrestre a adoptar cambios tan extremos, y fue el investigador Milutin Milankovic quien con la publicación en 1941 de su obra Canon de Insolación del Problema de la Glaciación, aportó a la comunidad científica el conocimiento sobre la manera en que la tierra realiza su recorrido alrededor del sol y su influencia sobre el clima.

Según éste investigador, existen tres ciclos principales.

El primero tiene una duración aproximada de 100.000 años y se refiere al tiempo que transcurre entre que la tierra describe la orbita más elíptica alrededor del sol y la menos acusada o alargada (siempre a lo largo de un año, claro). En la etapa de mayor longitud de la elipse, las oscilaciones en la radiación solar recibida a lo largo de las cuatro estaciones son muy acusadas, variando hasta un 30%, mientras que en el caso contrario son más uniformes a lo largo del año, como en la actualidad, que apenas varía un 5%.

Este factor es muy importante a la hora de influir sobre el clima.

El segundo ciclo tiene un período de 42.000 años y está relacionado con la inclinación del eje terrestre, lo que provoca que la radiación solar se reciba de forma más o menos tangencial a la superficie del planeta.

El último está referido al "balanceo" de la tierra respecto a su eje y tiene una duración de 22.000 años. Este fenómeno consiste en la desalineación entre los ejes magnéticos y geográficos de la tierra, que si bien tienden a encontrarse próximos, varían de forma ostensible a lo largo del ciclo, entre señalar el norte magnético a la estrella polar hasta señalar a la estrella Vega. Cuando apunta a Vega los inviernos y veranos son extremos.

A lo largo del Cuaternario, etapa que llega hasta nuestros días y que arrancó 1.700.000 años atrás, se han producido 10 glaciaciones con una frecuencia cada vez mayor, pues entre las dos primeras de éste período hubo un lapso de 400.000 años, mientras que entre las dos últimas "apenas" mediaron 60.000 años.

Para la tranquilidad de todos, diré que la última glaciación ocurrió tan solo hace 8.000 años. Eso sí, cuando el hielo cedió ante el aumento de temperaturas, hizo subir el nivel de los mares en cerca de 80 metros, modificando sustancialmente el perfil de los continentes y de la vida que albergaban.

En cualquier caso, la explicación que dan los ciclos de Milankovic para las glaciaciones es la siguiente.

Con un balanceo de la tierra en su máxima escora, es decir apuntando a Vega, los inviernos son extremos, acumulándose gran cantidad de nieve en las zonas polares y en las grandes montañas. Como la superficie de la nieve refleja la mayor parte de la radiación solar que recibe (tiene el mayor índice Albedo o de reflexión de luz), evita que la superficie se caliente con lo cual cada vez es mayor el área ocupada por la nieve, lo que retroalimenta su efecto hasta llegar a cubrir la mayor parte del planeta.

## **El mínimo de Maunder**

Este investigador británico fue contratado por el Real Observatorio de Londres para estudiar y fotografiar las manchas solares ya que se suponía, según estudios realizados desde Galileo, que éstas aparecían y desaparecían de forma periódica.

Y así fue. Maunder llegó a la conclusión que existe un ciclo de 11 años en los cuales la aparición de manchas solares varía desde su mínimo hasta un máximo de actividad, momento en el cual la radiación es máxima.

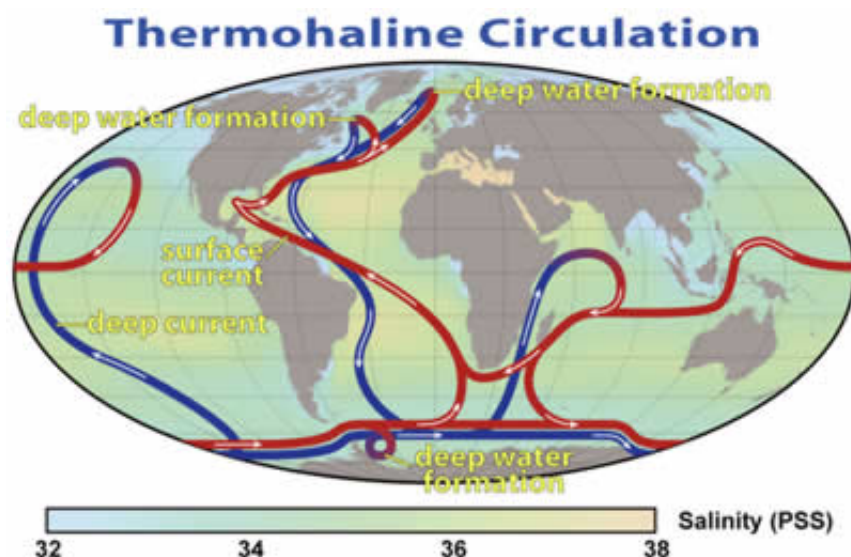
Por el contrario, la no existencia de manchas solares implica una menor radiación y, en consecuencia, se corresponde con períodos fríos en el clima terrestre.

Además, tras revisar con ayuda de su segunda mujer, la matemática Annie Scott, los estudios de Spörer (quien había identificado un período de mínima actividad en las manchas solares entre 1.400 y 1.510), descubrió en 1893 que desde 1.645 hasta 1.715 las manchas solares apenas aparecieron sobre la superficie solar (MÍNIMO DE MAUNDER), por lo que se confirmaba que la actividad de éstas manchas habían tenido una influencia decisiva en la aparición en el hemisferio norte de lo que se ha dado en llamar la Pequeña Edad de Hielo. Un período que abarca desde el final de la Edad Media hasta 1.800, durante el cual las temperaturas en Europa fueron persistentemente bajas.

## Las corrientes marinas

En los dos hemisferios del planeta existen grandes corrientes marinas permanentes que transportan aguas cálidas o frías, según sea su procedencia, y con volúmenes de agua que pueden superar en más de cien veces el del río Amazonas, desplazándose en muchos casos de continente a continente.

Como es lógico, las corrientes frías apenas producen evaporación de agua ni templan los vientos con los que roza su superficie, por lo que el aire frío deviene en bajas temperaturas y escasez de precipitaciones.



Contrariamente, una corriente marina cálida templan el ambiente y lleva aparejada la evaporación de agua y formación de nubes, en consecuencia las zonas continentales que se hallen influenciadas por su recorrido verán suavizado su clima y gozarán de lluvias.

Pues bien, veamos dos ejemplos de corrientes que inciden en el clima de manera regional, cuando

no global.

La primera es la corriente de El Golfo, que se forma en las aguas del caribe gracias a la abundante radiación solar que éstas reciben. Al calentarse el agua pasa a ocupar la parte superior del océano y provoca un desplazamiento en sus aguas que viene a ser ocupado por las más frías procedentes del deshielo de las zonas que anualmente quedan cubiertas por el hielo en el perímetro de Groenlandia y el Ártico. Este mecanismo pone en marcha un movimiento hacia el norte de las aguas cálidas y hacia el sur de las frías, que al calentarse en la región caribeña retroalimentan el fenómeno.

De ésta manera, una enorme corriente de aguas templadas pasa regularmente por el frente atlántico del continente europeo, llegando hasta el mar Ártico una vez ha pasado entre Islandia y la península Escandinava, asegurando que el continente europeo mantenga un régimen de lluvias regular y unas temperaturas mucho más templadas que la no existencia de ésta corriente implicaría.

Pero últimamente han surgido las primeras voces de alarma respecto a ésta corriente. Resulta que ya apenas se congela la superficie de mar que rodea a Groenlandia y los hielos en el perímetro del Ártico cada vez son más escasos, lo que podría inducir a un debilitamiento en el volumen y recorrido de la corriente de El Golfo y afectar directamente sobre el clima del continente europeo, que podría ver reducida su temperatura media en más de un grado.

El segundo ejemplo es mucho más brusco en sus consecuencias, además de tener un período cíclico errático y poco previsible. Me refiero a la corriente del hemisferio austral que se localiza en el Pacífico, entre las costas de Sudamérica y las de Australia e Indonesia, llamado El Niño.

En condiciones normales los vientos Alisios y la fuerza de la rotación terrestre acumulan el agua templada de la superficie contra las costas Australianas, mientras que en la costa sudamericana emergen las aguas frías más profundas.

No obstante, cuando el fenómeno de El Niño está próximo a producirse, las primeras señales se manifiestan en el océano Pacífico tropical junto a las costas de Australia e Indonesia, y es que los vientos Alisios que llevan a la zona aire templado y humedad, comienzan a amainar e incluso llegan a cesar. En ese momento las aguas cálidas, más ligeras que las frías, tienden a cubrir las aguas próximas a Sudamérica en un viaje inverso al habitual, lo que provoca una variación drástica en las condiciones climatológicas en ambos extremos del Pacífico.

En el sudeste asiático se producen estaciones muy secas con escasas lluvias debido al enfriamiento del océano, extremándose las temperaturas, mientras que en la costa oeste sudamericana, especialmente en la más próxima a Perú, las lluvias se vuelven muy intensas con un clima más cálido.

Éste fenómeno viene produciéndose durante los últimos 11.000 años. De los estudios paleoclimáticos en Perú se ha deducido que cada 500 o 1.000 años se produce un Mega Niño de consecuencias severamente catastróficas. Cada 50 años aproximadamente se produce un Niño muy fuerte, provocando inundaciones y pérdidas generalizadas, mientras que cada 3 o 4 años se da un Niño "normal", con abundantes lluvias y en general pocas pérdidas.

## Vientos estelares y campo magnético terrestre

Éste aspecto quizás ya empiece a resultar algo más farragoso que los anteriores, pero como tiene alguna influencia sobre el clima, al menos lo relataré brevemente.

El sol emite un flujo de partículas, hidrógeno en un 73% y helio en un 25%, que al encontrarse en forma de plasma prolongan el campo magnético solar.



Cuando éstos elementos entran en contacto con las capas altas de la atmósfera, reaccionan con los gases existente y forman partículas más impermeables a la radiación solar, con lo que en principio provocan (al limitar la radiación recibida en la superficie de la tierra) un descenso de las temperaturas. Es algo similar a lo que ocurre con las emisiones que realizan los aviones en sus miles de vuelos diarios. Los gases expulsados por sus motores contienen partículas de carbono y otros elementos, gases y vapor de agua. Al mezclarse éstas partículas con las gotas de vapor de agua las convierten en más reflexivas frente a la radiación solar, con lo que sus estelas limitan su llegada a la superficie terrestre y rebajan la temperatura. A estos fenómenos se les conoce como Oscurecimiento Global (Igualmente, las nubes tienen un importante índice de Albedo (reflexión) que contribuye a enfriar la atmósfera).

Por otro lado, éste campo magnético que traslada el viento solar tiende a comprimir el campo magnético terrestre. Si el flujo es potente puede debilitar nuestro campo y hacerle menos resistente a la radiación, con lo que ésta llegará en mayor porcentaje y en consecuencia calentará la atmósfera.

## El ozono

Quiero mencionar éste elemento porque en la opinión pública existe cierta controversia con el efecto sobre el clima del llamado Agujero de la Capa de Ozono.

El Ozono es un gas que se encuentra situado en sus máximas concentraciones a una altura de entre 15 y 40 Km, en plena estratosfera.

Se forma cuando la radiación ultravioleta del sol choca con partículas de O<sub>2</sub>, separándolas en átomos, que a su vez se combinan nuevamente con O<sub>2</sub> formando O<sub>3</sub>, o lo que es lo mismo, Ozono.

Su concentración en cualquier caso es muy baja, del orden 4 ppm, pero sin embargo es un filtro capaz de bloquear casi todas las radiaciones ultravioletas del sol.

Las radiaciones ultravioletas de menor longitud de onda, los rayos UVC, son muy dañinos para cualquier forma de vida, pero afortunadamente son retenidos casi por completo por el Ozono. Los rayos UVB, de una longitud algo mayor, son menos peligrosos pero también son filtrados en su mayor parte. Por último, los UVA que son los de mayor amplitud de onda y prácticamente inofensivos, pasan en su mayor parte.

Éste es el verdadero peligro de la reducción de la capa de Ozono, la incidencia de estas radiaciones sobre los seres vivos.

La teoría que asociaba la disminución del nivel de Ozono con el deshielo de los casquetes polares ha quedado últimamente en un segundo plano, ya que el efecto Albedo de la nieve frente a estas radiaciones consigue eliminar su teórico peligro.

## El CO<sub>2</sub>

Bueno, creo que hemos llegado al elemento estrella del Cambio Climático

Bien, como hemos visto la concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera ha fluctuado a lo largo de la historia, hecho que ha sido corroborado con el estudio del hielo depositado en los polos. Este hielo contiene valiosa información, debido a que conforme se han acumulado sucesivas capas, las inferiores se han comprimido y convertido en hielo en cuyo interior han quedado atrapadas burbujas del aire correspondiente a cada época.

Éste suceso, la variación del CO<sub>2</sub>, ha sido en parte el causante del calentamiento ó enfriamiento de la atmósfera y en consecuencia del clima a lo largo de las distintas etapas del planeta pero, ¿Cómo se produce el mecanismo que conduce a tales cambios?.



Si la tierra no contase con su atmósfera, la radiación solar incidiría sobre la superficie terrestre, absorbiendo ésta una parte de las mismas y reemitiendo el resto nuevamente hacia el espacio, de forma que el saldo térmico final situaría la temperatura media en el entorno de los 20 grados bajo cero.

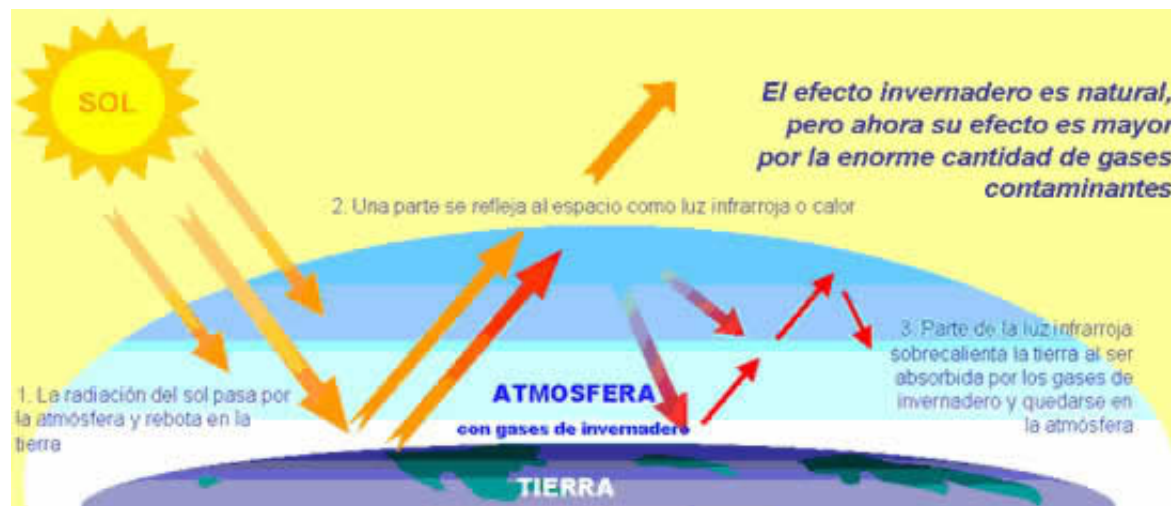
Ahora bien, afortunadamente existe una atmósfera de más de 140 Km de espesor (aunque respirables apenas los primeros 5 o 6) que lleva a cabo un papel regulador en el saldo radiativo solar.

El sol emite su radiación en una longitud de onda muy pequeña, de 0,48 micrómetros, que atraviesa sin grandes dificultades nuestra atmósfera. Pero cuando le toca a la tierra devolver el excedente hacia el exterior, ésta se realiza en una longitud de onda mucho mayor, de 10 a 15 micrómetros, frente a la cual la atmósfera ya no es tan permeable, reteniendo parte de la radiación que se dirige de vuelta hacia el exterior y calentando la atmósfera hasta los 15°C de media anual.

Los elementos presentes en ella encargados de tamizar las radiaciones en esa longitud de onda son básicamente dos, el CO<sub>2</sub> y el vapor de agua.

Cuanto más CO<sub>2</sub> exista en la atmósfera, más radiación desde la superficie de la tierra hacia el exterior retendrá, aumentando con ello la temperatura del planeta.

A mayor temperatura, mayor concentración de vapor es capaz de admitir la atmósfera, que a su vez también retiene más radiación que vuelve a incrementar la temperatura.



A éste fenómeno se le conoce con el nombre de Efecto Invernadero y es el responsable del incremento en 0,6°C de la temperatura media terrestre en el último siglo.

## Situación actual y futura del CO<sub>2</sub>

Sabemos que al iniciarse en el siglo XIX la revolución industrial, el nivel de CO<sub>2</sub> presente en la

atmósfera rondaba las 280 partes por millón. Ciento cincuenta años después, cuando Keeling comenzó en 1958 con las mediciones de CO<sub>2</sub>, la concentración era de 315 ppm, pero tan solo cincuenta años más tarde, en la actualidad, el nivel ha alcanzado las 380 ppm. Es evidente que estamos alterando de forma rapidísima la concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera, suceso que la naturaleza no podrá asimilar y equilibrar de forma natural.

Teniendo en cuenta que la población mundial se estima que a lo largo del presente siglo pase de los poco más de 6.000 millones de personas actuales a una horquilla de entre 9.000 y 11.0000, las nuevas necesidades que deberán satisfacerse hacen pensar que con los esquemas de consumo presentes, los niveles de CO<sub>2</sub> alcanzarán las 500-550 ppm. antes de llegar al año 2100.

Los científicos parece que han consensuado con sus estudios cual es el umbral de concentración a partir del que la influencia sobre el clima puede volverse perdurable y seriamente apreciable, con independencia de opiniones sobre su mayor o menor gravedad. La cifra la sitúan en el entorno de las 500 ppm y nos dirigimos a ella a marchas forzadas.

## **Consecuencias del Cambio Climático**

Antes de abordar que consecuencias se prevén, permítanme aclarar la diferencia entre Cambio Climático y Variabilidad del Clima.

Por Variabilidad del Clima, los expertos se refieren a las modificaciones que de forma natural (ya hemos visto unos cuantos ejemplos) se dan en el clima del planeta, mientras que por Cambio Climático únicamente asocian, junto con el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático de Naciones Unidas (IPCC), aquellos que tienen un origen antropogénico, es decir, motivado por la acción del hombre.

Así pues, Cambio Climático solo se refiere al que causamos nosotros.

Según el IPCC de Naciones Unidas, las consecuencias para el año 2.100 del aumento de CO<sub>2</sub> en la atmósfera como consecuencia de las emisiones humanas, abarcan una extensa lista de fenómenos entre los cuales cabe resaltar los siguientes:

- Aumento consolidado de la temperatura media del planeta de entre 1,0 y 3,5°C.
- Deshielo del 50% de los glaciares y de una parte importante del Ártico.
- Modificación de las corrientes marinas.
- Elevación del nivel del mar entre 40 y 140 cm.
- Ampliación de las áreas desérticas del planeta.
- Modificación de las precipitaciones en el planeta, incrementándose en cerca de un 15% en las zonas lluviosas y rebajándose hasta un 40% en las zonas secas como la cuenca del Mediterráneo, con sucesos locales de gran impacto.
- Entrada en extinción de casi un 20% de las especies.

## Conclusiones

Es cierto que en climatología hablar de un período de cien o doscientos años no implica necesariamente una tendencia consolidada (acabamos de dejar atrás la Pequeña Edad del Hielo que duró más de cuatrocientos años), pero hay que reconocer que el clima está cambiando de una forma inusualmente rápida. Recuerden su infancia y lo corroborarán.

Está claro también que existen factores que producen efectos contradictorios sobre el clima, como por ejemplo las nubes, que con su incremento consiguen rebajar la cantidad de radiación recibida y ayudan a enfriar la atmósfera, pero a la vez retienen una mayor cantidad de calor incrementando las temperaturas.

Igualmente, existen "sumideros" naturales del CO<sub>2</sub> capaces de absorber una gran cantidad de éste gas. Los océanos han asimilado un 48% de las emisiones humanas de CO<sub>2</sub> producidas entre 1.800 y 1.994, pero conforme se calientan pierden capacidad de absorción.

Los bosques del planeta han sido capaces de asimilar otro 28% del CO<sub>2</sub> durante ese período.

Además, en la actualidad se están estudiando fórmulas de "captura" de CO<sub>2</sub> para confinarlo en antiguos yacimientos petrolíferos y de gas. Un sistema delicado frente a movimientos sísmicos.

No obstante lo anterior, su concentración se presume cada vez más importante. A fin de cuentas, se deberán satisfacer las necesidades energéticas de un mínimo de 9.000 millones de personas. Parece claro que el actual modelo de generación de energía cuenta con una tecnología demasiado obsoleta en materia medioambiental, provocando una seria colisión entre nuestras necesidades actuales y nuestras condiciones de vida futuras.

En cualquier caso, y aunque admitamos ciertas incertidumbres al respecto, todo parece indicar que estamos influyendo negativamente con nuestra actividad sobre el clima, por eso, ¿realmente debemos bordear de forma innecesaria los límites de lo lógico y razonable para nuestro futuro, el de las generaciones que nos siguen y el del planeta mismo?.: NO, parece que es la respuesta más sensata.

Buscando una frase mediática para resumir el proceso de cambios que necesita abordar el sistema energético actual, el Secretario General de Naciones Unidas, Ban Ki-moon, ha declarado que "El cambio climático es el reto de nuestra época".