

¿ES UN MITO LA RELACIÓN CO₂-CAMBIO CLIMÁTICO?

ANICETO LÓPEZ FÉRNANDEZ
ACADÉMICO NUMERARIO

RESUMEN

Durante los grandes cambios climáticos sucedidos desde el comienzo del Fanerozoico las variaciones de las temperaturas no han seguido a las concentraciones de anhídrido carbónico atmosférico. En los interglaciales pleistocénicos suben las tasas de CO₂ y de metano aunque no siempre de forma paralela ni entre sí ni con la temperatura. Con el final del Eemiense bajan antes las temperaturas que los niveles de dióxido de carbono. En el Younger Dryas suben las tasas de CO₂ y bajan las temperaturas. En el Holoceno con bajos y prácticamente constantes niveles de CO₂ tuvo lugar el Período Cálido del Holoceno Medio y más recientemente el Calentamiento Medieval y el período frío conocido como la Pequeña Edad del Hielo. En el siglo XX, a pesar de los aumentos de CO₂ atmosférico, se registró un período frío entre 1940 y 1970. Después del máximo de 1998 no han seguido aumentando las temperaturas, pero sí los niveles de dióxido de carbono. Se destaca el papel secundario del CO₂ frente a la importancia de los ciclos solares en el cambio climático.

ABSTRACT

During the great climatic changes since the beginning of the Phanerozoic time the variations in temperatures didn't follow the concentrations of CO₂. In the Pleistocene interglacials the rates of CO₂ and methane increase, though not always in a parallel form between them and neither with temperature. With the end of the Eemian interglacial temperatures lower before than CO₂. During the Younger-Dryas the rates of CO₂ raise and the rates of temperatures decreases. In the Holocene with low and practically constant levels of CO₂ the Calid Period of Medium Holocene takes place, and more recently the Medieval Warming Period and a cold period known as the Little Ice Age. In the 20th century, even though the increases of atmospheric CO₂, there was a cold period between 1940-1970. After the maximum temperature of 1998, temperatures didn't continue to increase, although CO₂ did. We have to highlight the secondary role of CO₂ against the importance of the solar cycles in climatic changes.

PALABRAS CLAVE: CO₂, Cambio Climático, Fanerozoico, Eemiense, Holoceno, Pequeña Edad del Hielo, Ciclos Solares.

KEYWORDS: CO₂, Climate Change, Phanerozoic, Eemian, Holocene, Little Ice Age, Solar Cycles.

Desde hace ya bastantes años con frecuencia se está lanzando a la población en general el mensaje de que las emisiones de anhídrido carbónico antropogénicas son las responsables del Cambio Climático, porque como gas invernadero que es ocasiona el aumento de la temperatura del Planeta. Esta hipótesis cuenta con sus defensores y sus detractores. La revisión de cómo han variado las concentraciones de anhídrido carbónico a lo largo de la historia de la Tierra y las variaciones en las temperaturas que se han producido, nos podrá arrojar algo de luz sobre este controvertido tema y si es o no un mito, en el sentido de que se le atribuye cualidades que en realidad no tiene: el que los aumentos de CO₂ dan lugar a incrementos de la temperatura que conducen al Cambio Climático.

Por Cambio Climático se entiende el aumento de la temperatura del Planeta que es achacado a los gases de Efecto Invernadero, que absorben y devuelven hacia la superficie parte de la radiación infrarroja emitida por la Tierra. La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático en su artículo primero define el Cambio Climático como “un cambio del clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables”.

Los gases invernadero son gases traza atmosféricos. Estos gases responsables del Efecto Invernadero son: el vapor de agua que es el de mayor importancia, responsable entre un 60-80% del Efecto, el dióxido de carbono, el metano que es casi 30 veces más potente que el anhídrido carbónico pero su concentración atmosférica es menor, el óxido nitroso, los hidrofluorocarbonos, los perfluorocarbonos y el hexafluoruro de azufre (SF₆).

Todo este asunto sobre el cambio del clima surgió en 1988 cuando la Organización Meteorológica Mundial y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, crearon el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC) en el que actualmente están representados 194 países con unos 2500 expertos y científicos, que ha presentado hasta el momento cuatro Informes en 1990, 1995, que dio lugar al famoso Protocolo de Kyoto de 1997, 2001 y 2007 (IPCC, 1990; 1995; 2001; 2007), año este último en que le fue concedido al IPCC el Premio Nobel de la Paz, junto al político Al Gore.

Sería prolijo describir aquí el detalle de estos Informes, pero sí quiero destacar que detectan una elevación de la temperatura terrestre desde hace algo más de un siglo de 0,6° C, atribuyéndolo fundamentalmente a las emisiones de CO₂ antropogénicas a través de la quema de combustibles fósiles, de ahí la reducción en un 5% de dichas emisiones hasta 2012 que propuso el Protocolo de Kyoto. Además informan de sus predicciones, previsiones o proyecciones, según distintos escenarios modelizados, hechos con ordenadores, de lo que ocurrirá hasta el año 2100, que incluyen aumentos de la concentración de dióxido de carbono, de la temperatura, elevaciones del nivel del mar, aumento de inundaciones, derretimiento de glaciares y de hielos árticos y antárticos, etc., que conformarían un mundo muy diferente al que ahora conocemos.

El IPCC ha realizado una labor de denuncia y concienciación social a nivel mundial que es innegable. El que el hombre no debe alterar los niveles naturales de gases atmosféricos es una cuestión clara y las medidas que se tomen para reducir las emisiones de CO₂ y otros contaminantes siempre serán bienvenidas, aunque el estilo empleado en su labor divulgativa ha desembocado ciertamente en un alarmismo social, que entiendo no es beneficioso para la ciencia.

Pero, para que cada uno de ustedes pueda llegar a tener su propio juicio individual al final de mi intervención, es conveniente poner sobre la mesa algunas cuestiones que considero de interés.

En primer lugar hay quien considera excesivo hablar de Cambio Climático en tan poco período de tiempo, ya que secularmente los cambios suceden en períodos mucho más largos, de multidécadas, centenares o miles de años (Hasselmann et al., 2003). De hecho en los años 80 del siglo pasado se llamaba Calentamiento Global, un término menos drástico.

En segundo lugar hay que decir que verdaderos cambios climáticos ha venido experimentando desde siempre nuestro Planeta. Desde los últimos 2,5 ó 3 millones de años, prácticamente durante todo el Pleistoceno, se ha estado atravesando por una época glacial donde ha habido más de una treintena de períodos glaciales, con grandes masas de hielo sobre una buena parte de las superficies continentales, particularmente Eurasia y América del Norte.

En este sentido, las perforaciones en el hielo realizadas en Groenlandia, en la base rusa de Vostok en la Antártida o las del Proyecto EPICA (European Project for Ice Coring in Antarctica), que ha realizado una perforación en el Domo C en la Antártida de 3270,2 m de profundidad, a sólo 5 m de la roca subyacente, han identificado ocho períodos glaciales en los últimos 750.000 años, así como los niveles de gases invernadero encerrados en pequeñísimas burbujas de aire que han permitido conocer los niveles preindustriales de dióxido de carbono, metano, óxido nítrico, etc. (EPICA COMMUNITY, 2004; 2006). Es decir, que aquello que nos enseñaban de que había habido cuatro glaciaciones: Günz, Mindel, Riss y Würm según los vestigios que quedaron en los Alpes y en el Danubio ha quedado obsoleto, porque han sido muchas más.

Otros registros sobre la variación de la temperatura en el pasado se han efectuado, por ejemplo, a partir de muestras de sedimentos del Océano Subantártico investigando el tamaño de los organismos depositados o la proporción de los isótopos del oxígeno en caparazones de foraminíferos. Ello ha permitido establecer en los últimos 450.000 años 13 estadios de los isótopos del oxígeno y cinco glaciaciones, es decir, aproximadamente una cada noventa o cien mil años, separadas por períodos cálidos interglaciales mucho más cortos, de sólo unos 10.000 años de duración, en promedio (Hays et al., 1976).

Se ha especulado mucho sobre el origen de las glaciaciones, aunque hoy día lo más admitido es el descenso en la llegada de radiación solar a la Tierra, tal como ya propusiera el astrónomo serbio Milutin Milankovitch por los años treinta del siglo XX (Milankovitch, 1930).

Las causas principales de las glaciaciones son astronómicas, independientemente de que en ciertas épocas puedan coadyuvar fenómenos como el vulcanismo, la interrupción de corrientes oceánicas, cambios en el albedo, etc., y están basadas en la distancia Sol-Tierra, que varía en ciclos de 21.000 años entre el 1 y el 5% del valor medio, bien por encima o por debajo. Además, la inclinación del eje de la Tierra sobre el plano de la

eclíptica que actualmente es de 23,5 ° varía en ciclos de 40.000 años entre 22 y 24° y la precesión equinoccial cada 26000 años y también interviene la excentricidad de la órbita.

De la conjugación de estos ciclos dependerá la cantidad de radiación solar que pueda recibir la Tierra y consecuentemente la expansión o retroceso de los hielos glaciales, que han ido modelando el Planeta y han sido claves en la generación y desaparición de especies.

En relación a este último fenómeno he de decir que no ha sido de igual intensidad en Europa que en América, ya que el avance de los hielos en nuestro continente hacía desplazarse a las poblaciones hacia el sur, donde se encontraban con fuertes barreras geográficas: el Mediterráneo, los Alpes, los Pirineos, Balcanes, etc., que provocaron la extinción de muchas de ellas al no poder atravesarlas. Sin embargo, las grandes cordilleras de Norteamérica, las Rocosas por el oeste y los Apalaches por el este, que prácticamente siguen los meridianos, no impidieron el desplazamiento hacia el sur de especies vegetales y animales. Todo ello explica la gran diversidad que se encuentra en las regiones intertropicales.

He de hacer notar que la Naturaleza ha sabido sobrevivir, no sin cierta dificultad, a estos cambios climáticos causados por las idas y venidas de los hielos. En efecto, los cambios de gran frecuencia temporal son rápidamente asimilados por la vida, pero cuando esos cambios van alargando en el tiempo su aparición recurrente, cada vez producen un mayor impacto negativo sobre los ecosistemas y la biosfera en su conjunto. Así, el cambio más simple y primero al que tuvo que adaptarse la Naturaleza es al de las sucesiones día-noche, consecuencia del giro de la Tierra, al que las especies se fueron adaptando y especializando de manera que su impacto es inapreciable en la actualidad. Un cambio algo más largo en el tiempo son los ciclos lunares o las estaciones, a los que también han sabido adaptarse las especies al ser igualmente grande su frecuencia de aparición.

La llegada de una glaciación cada 90.000 años causa un impacto mayor que los anteriores y no digamos nada de los sucesos que aparecen con una cadencia de millones de años, tales como la caída de grandes meteoritos, como el que cayó en Yucatán hace algo más de sesenta y cinco millones de años –asteroide Chicxulub de 10 km de diámetro cuyo rastro ha podido ser identificado por las elevadas concentraciones de Iridio que contenía- y que acabó con muchas especies incluidos los grandes saurios, determinando con ello un cambio muy importante en la manera de funcionar de la Naturaleza (Schulte et al., 2010). En definitiva queda meridianamente claro que el daño causado por un determinado suceso es inversamente proporcional a su frecuencia de aparición: a menor frecuencia más daño sobre los ecosistemas.

Como el cambio climático es achacado a los gases invernadero, particularmente al CO₂ (Wang et al., 1976), no está de más, para formarnos un criterio, revisar cuáles han sido sus concentraciones atmosféricas en el pasado y las relaciones que ha mantenido con la temperatura.

Por los Proyectos GEOCARB III (Berner and Kothavala, 2001) y COPSE (Carbono-Oxígeno-Fósforo-Azufre-Evolución) (Bergman et al., 2004) de gran complejidad en la toma de datos y elaboración, sabemos que desde comienzos del Fanerozoico hace 550 millones de años y hasta tiempos muy recientes las concentraciones de CO₂ han sido siempre más elevadas que las de ahora (380 ppm). Al inicio del Paleozoico las concentraciones de dióxido de carbono eran muy elevadas. Así, en el primer período

de la Era Paleozoica, el Cámbrico, cuando se produce la Explosión Cámbrica de la vida, hace algo más de 500 millones de años, la concentración de CO₂ llegó a ser de hasta 7000 ppm (COPSE predice más de 10 veces los niveles atmosféricos actuales), el máximo conocido, con temperaturas medias globales de alrededor de 20° -25° C. En el Ordovícico unos 450 millones de años atrás había 4400 ppm. A final del Devónico se produce una gran bajada, entre hace 315-270 millones de años, coincidiendo con parte del Carbonífero y del Pérmico donde se registraron unos niveles semejantes a los actuales, al igual que sucedió con la temperatura. Sin embargo, COPSE en el Permo-Carbonífero encuentra una caída menor en el dióxido de carbono, que cifra en 3-4 veces superior a los niveles atmosféricos actuales, debido a la evolución de las plantas terrestres que dan lugar a una “fase de cambio” por el incremento de las tasas de meteorización y el desplazamiento de material orgánico bajo el suelo.

En la Era Secundaria, por ejemplo, en el Jurásico se alcanzaron entre 2000 y 3000 ppm (según COPSE en el rango de 3 a 7 veces superior a los niveles actuales), descendiendo los niveles de CO₂ durante el Cretácico hasta algo menos de 1000 ppm mientras que la temperatura media global aumentó en ese período. Durante el Terciario siguen bajando las tasas de CO₂ y al final también bajan las temperaturas, pero unos 80 millones de años después que comenzaron a bajar las tasas de CO₂.

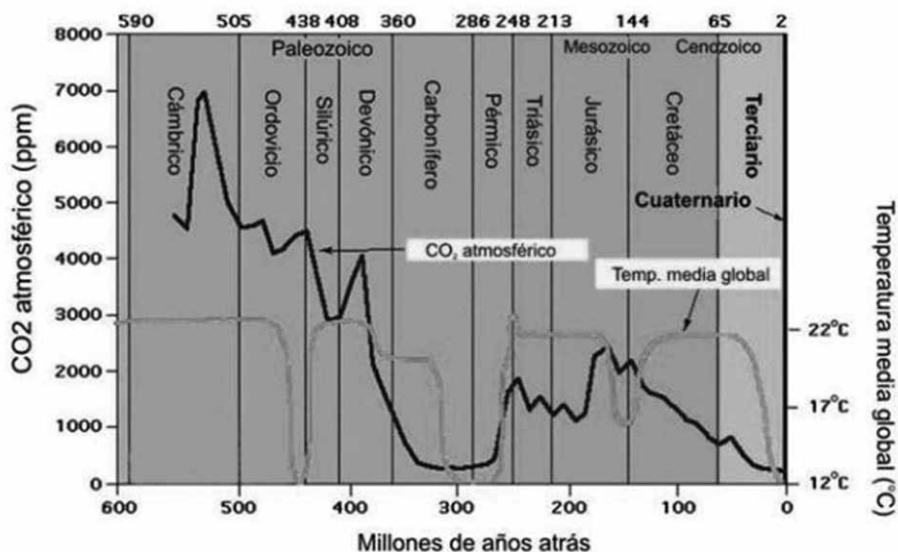


Figura 1.- Evolución del anhídrido carbónico y de las temperaturas durante el Fanerozoico. Fuente: Berner and Kothavala, 2001; Scotese, 2001).

En todo este extenso período de la historia de la Tierra no es posible observar una relación de dependencia entre el dióxido de carbono y la temperatura o el clima terrestre. Posiblemente las elevadas tasas de anhídrido carbónico a comienzos del Fanerozoico puedan ser explicadas por la actividad volcánica y en la disminución de sus elevados niveles, la actividad de la biomasa fotosintética y, sobre todo, la entrada en acción de la fase sedimentaria del ciclo del carbono, que actuó restando grandes cantidades de carbono atmosférico para aislarlo en forma de rocas calizas, carbón, petróleo, etc.

Si analizamos más detenidamente las temperaturas debemos tener en cuenta que hace 7000 millones de años fue cuando nuestro futuro Sol se contrajo formando una caliente enana blanca (Solanki, 2002) y que hace 5000 millones de años es cuando se sitúa el comienzo de la vida del sol con una irradiancia de un 30% inferior a la actual, que vendría a explicar los inciertos períodos fríos Precámbricos cuando todo el Planeta estuvo cubierto de hielo y era denominado como una “Bola de Nieve” (Kirschvink et al., 2000).

Durante el Fanerozoico la Tierra pasó por ocho grandes ciclos climáticos, de entre 50 a 90 millones de años de duración. Así en el Cámbrico las temperaturas subieron hasta los 25° C, para luego bajar hasta los 10° C a finales del Ordovícico, luego vuelven a subir durante el Silúrico y el Devónico para posteriormente bajar durante parte de Carbonífero y del Pérmico dando un nuevo período frío. Más tarde vuelven a subir desde mediados del Pérmico hasta finales del Jurásico, donde comienza un nuevo período frío, aunque menos drástico que los anteriores con temperaturas alrededor de 17° C. La temperatura vuelve a subir en el Cretácico y se mantiene alta hasta mediados del Terciario en que baja de manera discontinua hasta que da comienzo el nuevo período frío del Pleistoceno (Scotese, 2001). Posiblemente estos grandes ciclos de decenas de millones de años de duración se deban al paso del Sistema Solar a través de los brazos de la espiral de la Vía Láctea. En su recorrido el Sistema Solar debió pasar por zonas de intensa creación de estrellas con frecuentes explosiones de novas y supernovas, lo que propició que la intensidad de radiación cósmica galáctica que alcanzaba la Tierra fuese hasta 100 veces más elevada que el promedio. La elevación de los niveles de radiación cósmica en la troposfera trae como consecuencia una mayor formación de nubes que reflejan hacia el espacio exterior la radiación solar incidente, que da como resultado una menor temperatura terrestre. Por el contrario, cuando el Sistema Solar viaje por áreas donde la radiación cósmica sea más débil se formarían menos nubes y la temperatura superficial del Planeta subiría (Shaviv and Vaizer, 2003). Sobre estos ciclos climáticos de tan larga duración se superponen ciclos más cortos que vienen a reforzar o debilitar a los primeros.

En los ciclos glaciales del Cuaternario las concentraciones de dióxido de carbono son menores que las ya comentadas. En los interglaciales la concentración de CO₂ aumentaba, con la salvedad de que casi siempre los cambios térmicos precedían a los cambios de CO₂. Otros gases invernadero como el metano, suelen seguir la pauta de crecimiento del CO₂ en los períodos interglaciales, pero no en todos los momentos.

Hay que decir que, por lo que conocemos actualmente, los períodos interglaciales son mucho más cortos que los glaciales. Una glaciación dura unos 90.000-100.000 años con sus picos de máximos y mínimos, mientras que los interglaciales alrededor de los 10.000. ¿Cómo fue el último interglacial Riss-Würm? La respuesta nos podría ayudar a comprender mejor el interglacial en el que nos encontramos.

El último interglacial, llamado Eemiense (del río Eem de los Países Bajos, donde se ha encontrado depósitos de esa época) comenzó hace 127.000 años y terminó hacia 115.000 años atrás. Precisamente hace unos 120.000 años es cuando surge como especie independiente el *Homo sapiens* que desde África comienza a extenderse por Oriente Medio, Europa, Asia y desde ahí pasar a la colonización de América. Las temperaturas medias se situaron en los momentos álgidos en 1 ó 2 ° C por encima de las actuales (Kaspar et al., 2005) y en algunos lugares, como Asia o Groenlandia, las temperaturas eran hasta 5° C más elevadas que las de hoy (North Greenland Ice Core

Project Members, 2004). Las aguas superficiales de muchos mares tenían 2 ó 3 grados más que ahora (Lea et al., 2000) y el nivel del mar era más elevado en 4-6 metros. Cuffey and Marshall (2000) proponen que fue debido a un deshielo casi completo de Groenlandia, aunque se ha rebatido al encontrarse hielo de aquella época (Oerlemans et al., 2006). La excentricidad de la órbita terrestre era mucho mayor que la actual y la inclinación del eje de la Tierra también. Además el perihelio ocurría durante el verano del hemisferio norte no como ahora que es en invierno y el clima era más húmedo que en el presente.

Cuando termina el interglacial Eemiense hace 115.000 años la concentración era de 280 ppm. Sin embargo, el descenso térmico fue al final del Eemiense mucho más rápido que el descenso del anhídrido carbónico.

El máximo de frío de la última glaciación sucedió hace 22.000 años, precisamente cuando se extinguen los últimos Neanderthales de Gibraltar (Finlayson et al., 2000) y la temperatura del Pacífico era 2,8° C menor que ahora (Lea et al., op. cit.), la concentración de CO₂ era de unas 200 ppm. Ello sugiere el gran papel que desempeñaría el océano en la captación y desprendimiento de dióxido de carbono en función de la temperatura de sus aguas. A partir de esa fecha, del máximo glacial, comienzan lentamente a subir los niveles de anhídrido carbónico, de manera que en el calentamiento Bölling-Alleröd (14.700-12.900 AP) ronda las 235 ppm y sigue subiendo, y esto merece atención, en el Younger Dryas (12.900-11.500 AP) llega a 265 ppm, a pesar de ser un período muy frío, que se piensa fue causado por la rotura del gran Lago Agassiz (Broecker et al., 1989) que estuvo situado en Norteamérica y que vertió en muy poco tiempo sus aguas gélidas al Atlántico Norte a través del río McKenzie (Murton et al., 2010), causando la interrupción, entre otras, de la Corriente del Golfo, lo que hizo que Europa atravesase durante más de 1000 años por este período tan frío. Sin embargo, otros gases invernadero como el metano -que suele seguir la pauta de crecimiento del CO₂ en los períodos interglaciales, fundamentalmente por las emanaciones desde zonas con metabolismo anaerobio de la materia orgánica que se ven favorecidas por el aumento de la temperatura-, en el caso del Younger Dryas descendieron sus concentraciones debido a que el frío reduciría la actividad biológica en las zonas productivas como las turberas y los suelos permafrost. Con la drástica finalización del Younger Dryas, hace 11.500 años, se elevaron en las concentraciones de vapor de agua, de metano que pasó en 200 años de 0,5 a 0,75 ppm y de dióxido de carbono que llegó a 330 ppm al comienzo del Holoceno (Taylor et al., 1997; von Grafenstein et al., 1999; Wagner et al., 1999).

A partir de aquí, hace 11.500 años, se produce un fuerte calentamiento que da lugar a un período interglacial: el Flandriense u Holoceno, que es la última época geológica del Cuaternario, en la que nos encontramos en la actualidad. De este calentamiento es responsable una mayor llegada de insolación o radiación solar al hemisferio norte consecuencia de una mayor inclinación del eje de la Tierra, mayor excentricidad de la órbita, diferencias en el perihelio respecto a la situación actual, e incluso otras causas internas terrestres.

Este calentamiento favoreció que las poblaciones humanas, que contaban por entonces entre 5 y 10 millones de personas, abandonasen las cuevas y se reunieran en poblados al aire libre.

Comenzaba el sedentarismo, la agricultura, la domesticación de muchas especies, la nueva forma de trabajar la piedra, etc., dando así comienzo el Neolítico.

Lógicamente desde el último máximo glacial ocurrido hace poco más de 20.000 años el nivel del mar ha ido subiendo como consecuencia del deshielo, al igual que cíclicamente ha venido ocurriendo en glaciaciones anteriores, pero no ha subido de manera uniforme sino intercalándose cuatro pulsos de rápido deshielo, el último de los cuales sucedió hace unos 8.000 años y se cree fue consecuencia de un nuevo drenaje del Lago Agassiz y de otros como el Ojibwa, que para algunos fue el detonante del bíblico Diluvio Universal (Turney and Brown, 2007). El nivel del mar ha subido desde el último máximo glacial 120 m cesando los pulsos de deshielo hace unos 6.000 años, por lo que desde entonces y hasta principios del siglo XX la elevación ha sido muy pequeña, subiendo después a razón de 1,8 mm/año (Bruce, 1997) y en el período 1997-2003 a 2,8 mm/año (Chambers, 2003).

En el Holoceno Temprano se elevaron las concentraciones de vapor de agua, de metano y de dióxido de carbono, que llegó a las 330 ppm, como ya se ha significado. Después los niveles de CO₂ permanecieron estables alrededor de 230 ppm, para luego subir un poco hasta las 250 ppm hace unos 5.000 años (Parrenin et al., 2007), que culminaría hace algo más de un siglo con 280 ppm, aunque este valor es discutido como más tarde se argumentará, y a partir de ahí se ha incrementado a las 380 ppm actuales.

Es posible distinguir ciertas variaciones en la temperatura y en el clima durante estos últimos 11.000 años, sin apenas variaciones en el dióxido de carbono. En efecto, si acudimos a la Teoría Climática de Blytt-Sernander basada en estudios sobre turberas (Dau, 1829; Weber, 1926), completados más recientemente por secuencias de polen, dataciones con Carbono 14 y cocientes de los isótopos del oxígeno, se distingue un Estadio Boreal de calentamiento rápido, entre el 11.500 y 8.900 AP, al que le siguió el Estadio Atlántico entre el 8.900 y 5.700, un período cálido y húmedo en el que se registraron las máximas temperaturas, también llamado Período Cálido del Holoceno Medio, más cálido que el presente, con temperaturas en el aire de hasta 2,5° C superiores a las actuales en el verano del hemisferio norte. Le siguió el Estadio Subboreal entre el 5.700 y el 2.600 AP con temperaturas medias más bajas, y después el Estadio Subatlántico que abarca hasta el presente.

En este último que es el estadio en el que nos encontramos ahora hay que distinguir el Período Cálido Medieval, u Óptimo Climático Medieval, aproximadamente entre el 800 y 1200 de nuestra Era, con temperaturas que llegaron a ser de hasta 2° C por encima de las actuales (Broecker, 2001). También se produjo un período frío entre el siglo XIV y mediados del XIX, conocido como la Pequeña Edad del Hielo, ambos sin variaciones apreciables en los niveles de dióxido de carbono atmosféricos.

Este último se caracterizó porque las temperaturas globales bajaron un grado centígrado con respecto a la media, lo que se tradujo en una crudeza de los inviernos en muchos lugares de nuestro hemisferio. Pintores como Pieter Breughel el Viejo (1525-1569), uno de los mejores pintores flamencos del siglo XVI, o del holandés Hendrick Avercamp (1585-1634), conocido como el mudo de Kampen, porque era sordomudo, ilustraron en sus obras los paisajes nevados, escenas de barcos atrapados por el hielo, patinadores sobre ríos helados, etc., típicos de esa época. Cabe destacar, por ejemplo, la obra de Breughel "Cazadores en la Nieve" de 1565 que se encuentra en el Museo del Arte de Viena, y de Avercamp la "Escena invernal con patinadores cerca de un castillo" de 1608-09 o "Escena en el hielo cerca de un pueblo" de 1615, ambas en la National Gallery de Londres. Pero el frío o las bajas temperaturas no se presentaron de manera uniforme a lo largo de este período. Se distinguen tres momentos donde las temperaturas

fueron particularmente bajas, que se conocen con los nombres del Mínimo de Spörer (entre 1420-1570), el Mínimo de Maunder (1645-1715) y el Mínimo de Dalton (1790-1820). Estos descensos en la temperatura se han podido conocer por las perforaciones realizadas en el hielo de Groenlandia a través del estudio de la proporción de los isótopos del oxígeno 16 y 18 (Johnsen et al., 1970), por los denominados Indicadores Proxy de Temperatura que además comprenden mediciones de los anillos de crecimiento en árboles, alcance de los glaciares, líneas de movimiento de los bosques, estudios sobre turberas y sedimentos lacustres, entre otras cuestiones, (Soon and Balliunas, 2003) y por los niveles de Carbono 14 atmosféricos (Servicio Geológico EEUU, 2005).

Lo cierto es que durante La Pequeña Edad del Hielo los glaciares avanzaron, que algunos poblados tuvieron que ser abandonados y que el Mar Báltico se congeló pudiéndose pasar en trineo desde Polonia a Suecia, parando la gente por la noche en tabernas construidas sobre el hielo. En nuestro país el río Ebro se heló a la altura de Tortosa en siete ocasiones y hasta con quince días de duración entre 1505 y 1789 (Beyreri, 1933). Las arriadas eran frecuentes, consecuencia de un aumento de la pluviosidad, como las que tuvieron lugar en el Guadalquivir en Córdoba, cuando el agua pasaba por encima del molino de Enmedio y las aguas inundaban la Plaza del Potro y la calle Lineros, entre otras (López, 2007 a y b). En esta época abundó la construcción de “pozos de la nieve”, como el que podemos ver en Santa María de Trasierra (Córdoba) que estuvo funcionando hasta bien entrada la segunda mitad del siglo XIX. Estos pozos constituyeron un negocio floreciente almacenando nieve en invierno para venderla luego en verano y dieron trabajo a una buena parte de la población rural.

El mundo de la música salió beneficiado porque se apunta que los violines que se fabricaron al final del Mínimo de Maunder como los Stradivarius o los Amati deben su calidad de sonido a la madera tan densa con la que fueron construidos, debido a la estrechez de los anillos de crecimiento de los abetos que se utilizaban y que habían crecido con esas temperaturas tan bajas (Burckle and Grissino-Mayer, 2003).

¿Por qué sucedió La Pequeña Edad del Hielo? La respuesta hay que encontrarla sobre todo en una disminución de la actividad del Sol. Cuando no hay manchas solares decrece la cantidad de radiación que llega a la Tierra. Ahora hace cuatrocientos años que Galileo con su rudimentario telescopio logró observar nuestros Planetas y descubrir sus satélites desde el Campanile de Florencia. Los astrónomos posteriores también miraron hacia el Sol y quedaron sorprendidos cuando incluso durante períodos de setenta años no lograban ver ninguna mancha solar.

Pero también en ciertos momentos influyó una actividad volcánica acrecentada. Por ejemplo, al año 1783 se le conoce como el año en que no hubo verano, debido a una erupción que tuvo lugar en Islandia, al igual que ahora (Abril-Mayo de 2010) con la erupción del volcán Eyjafjallajökull que ha cerrado aeropuertos europeos y de Las Canarias. Aquélla erupción fue documentada por Benjamín Franklin que anotó los efectos de la nube volcánica sobre las cosechas, la disminución de las temperaturas y la hambruna que provocó. Otro año sin verano fue 1816 por las erupciones volcánicas de la Montaña Tambora (Indonesia) en Abril de 1815, que trajo funestas consecuencias para los cultivos de cereal en el norte de Europa y de América, y en los cultivos de arroz en China, por las bajas temperaturas que se registraron durante el verano y el otoño que también indujeron la congelación de muchos lagos y ríos y la falta de alimento en los países afectados (Stommel and Stommel, 1983; Stothers, 1984). Hay que mencionar además la Edad Oscura que comienza en el siglo VI, posiblemente provocada por el

colapso, tras la erupción, de la caldera de una Proto-Krakatoa entre la actual Sumatra y Java hacia el 535 de nuestra Era, que pudo ser el origen del enfriamiento que se produjo cambiando el clima de vastas extensiones y que acarreó un déficit alimentario, tras el que se quiere encontrar los importantes cambios culturales, político-económicos e incluso religiosos y de otra índole que ocurrieron en este período temprano de la Edad Media (Wohletz, 2000).

A finales del XIX comienzan a subir las concentraciones de CO₂ atmosféricas, y la primera persona que postuló que las emisiones industriales de dióxido de carbono provocaban el Efecto Invernadero fue en 1895 Svante Arrhenius (1859-1927), científico sueco, Premio Nobel de Química en 1903, famoso además por su teoría sobre los iones o por proponer la posibilidad de la panspermia. Él trabajó junto a Thomas Chamberlin ((1843-1928) para evaluar si el dióxido de carbono podría explicar los episodios de las glaciaciones e interglaciaciones y pronosticaron que las actividades humanas productoras de dióxido de carbono podrían provocar el aumento de la temperatura terrestre. Sin embargo, su teoría no cuajó porque después la temperatura de la Tierra fue más baja durante quince años seguidos.

Más tarde, en 1938, esta hipótesis fue retomada por Guy Stewart Callendar, quien pronosticaba una subida de temperatura con las elevaciones del CO₂ (Efecto Callendar), considerando que este calentamiento sería beneficioso al retrasar la llegada de la siguiente glaciación. Plass en 1956 también realizó predicciones sobre el aumento de dióxido de carbono y su efecto en la temperatura media de la Tierra. No obstante, sucedió que desde 1940 hasta comienzos de los años 70 se produjo una disminución de las temperaturas que mostraba una tendencia al enfriamiento global, a pesar de los incrementos del CO₂ que se seguían produciendo. Este período de enfriamiento ha sido poco tenido en cuenta por los científicos.

En esa década de los años 70 se van tomando en consideración las mediciones dióxido de carbono que desde algunos años atrás (1957) se realizaban en Mauna Loa en Hawai por el Dr. Keeling, que mostraban que el CO₂ atmosférico aumentaba año tras año. A finales de los 50 eran de 315 ppm

Hacia los años 80 la curva de la temperatura media global comienza sensiblemente a subir y va ganando adeptos la teoría del calentamiento global. Los medios de comunicación, las ONGs ecologistas, etc., alertan sobre esta situación y piden medidas protectoras del medio ambiente que contrarresten este aumento de temperatura debido al dióxido de carbono. Así las cosas en un ambiente donde muchos reconocen que las temperaturas son más altas que en 1880 y que el clima está cambiando, se crea en 1988 por la ONU el IPCC, que emite los sucesivos Informes, basados en registros de temperaturas y en modelos matemáticos.

En la actualidad hay muchas personas, expertos y científicos que están convencidos del cambio climático, pero en honor a la verdad también hay otros muchos que no lo están y que critican de agoreros o gurús a los defensores, mientras que éstos titulan a los otros de negacionistas.

¿En qué se basan las críticas? Pues fundamentalmente en la falta de fiabilidad de los datos que se han manejado para la realización de los modelos predictivos y en la poca importancia que en ellos se le da ciertos aspectos climáticos, solares y relacionados con el ciclo biogeoquímico del carbono y con los mecanismos "Feed-Back" o de retroalimentación de la Naturaleza. Recalcaré algunos de ellos.

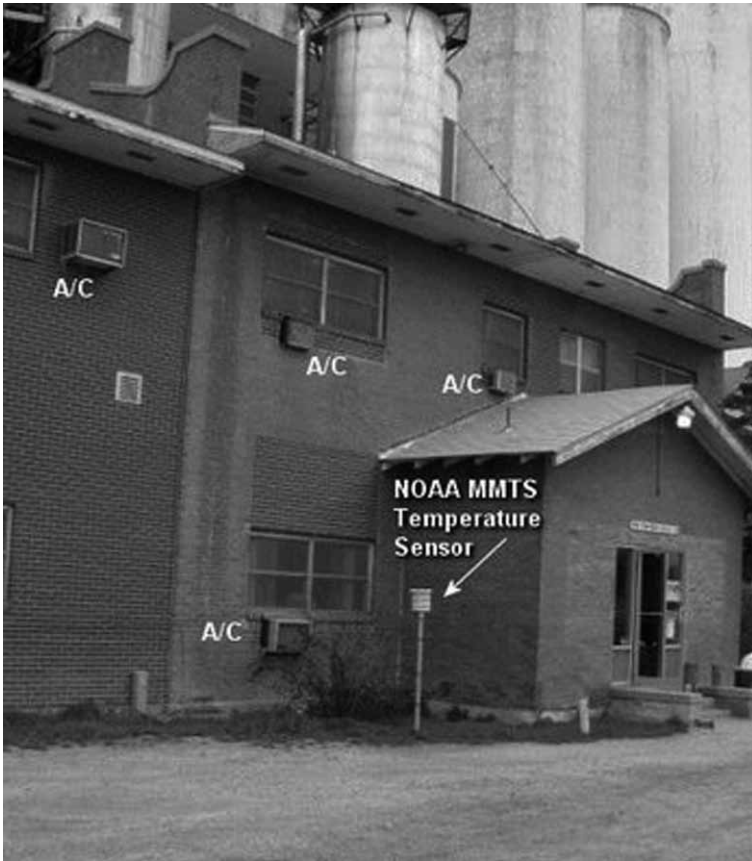
Los registros de CO₂ realizados en cilindros de hielo polar han servido como prueba

de que la actividad humana ha aumentado en un 25% los niveles preindustriales de este gas en la atmósfera. El Prof. Jaworowski del Laboratorio Central de Protección Radiológica de Varsovia, reconocido científico experto en glaciares y estudios climáticos (Jaworowski et al., 1992; Jaworowski, 1994), expone que los cilindros de hielo extraídos de Groenlandia o de la Antártida no cumplen los criterios esenciales de los sistemas cerrados, por lo que la formación por debajo de 200 m de Clatratos sólidos de CO₂, que son pequeños cristales formados por la interacción del gas con moléculas de agua, hace disminuir las concentraciones de ese gas en el hielo y por tanto se obtienen concentraciones más bajas que las que efectivamente había cuando el hielo se formó, con lo que las estimaciones están infravaloradas, sobre todo, al compararlas con las del presente. También apunta Jaworowski que muestras de hielo de baja profundidad y, por tanto, sin clatratos, como las obtenidas en Siple en la Antártida correspondientes al año 1890 que ha sido utilizada por el IPCC con el valor de 290 ppm de CO₂ para mostrar cómo ha ido ascendiendo desde entonces el CO₂ por acción del hombre, fueron unos datos corregidos porque la concentración real era de 328 ppm, un nivel que no se alcanzó en Mauna Loa hasta 1973. También critica los datos que fueron seleccionados arbitrariamente por Callendar del CO₂ atmosférico procedentes de muestras de hielo de Europa, Norteamérica y Perú entre 1860 y 1900 que utilizó para calcular la media de CO₂ en el siglo XIX que cifró en 292 ppm que ha sido utilizada como el valor preindustrial, cuando en realidad sin esa selección arbitraria los valores medios del siglo XIX serían de 335 ppm.

De otra parte la “curva en palo de hockey” de la temperatura propuesta por Mann (Mann et al., 1998) que fue usada como buque insignia por el IPCC en su Informe de 2001, es una curva que omite el Período Cálido Medieval y La Pequeña Edad del Hielo, y que pronostica un ascenso casi exponencial de la temperatura, cuestión que no se ha cumplido. Esta “curva en palo de jockey” procede de un estudio pobre en metodología que ha sido fuertemente criticado (McIntyre and McKittrick, 2003), y que ha llevado a pedir disculpas a la propia revista editora (Nature).

Se publica por la NASA que el año más cálido de la historia moderna fue 1998, aunque después corrigió a 1934, pero en los siguientes once años no han seguido subiendo las temperaturas. De hecho se aventuraba que 2007 iba a ser el año más caluroso de la historia (EFE, 2007), pero finalmente ocupó el séptimo lugar tomando en cuenta las mediciones realizadas en la superficie de la Tierra. De otro lado, 2008 fue el año más frío de este siglo. Es decir, las temperaturas no han continuado en alza como se predecía por los modelos matemáticos, a pesar de que siguen subiendo los niveles de dióxido de carbono.

En la toma de temperaturas terrestres han sido muy criticados la ubicación de algunos sensores localizados junto a focos de calor como aquellos situados sobre el asfalto o al lado de aparatos de aire acondicionado, como el de Fort Morgan en Colorado, por citar alguno (Fotografía 1). Otras estaciones de medición fueron movidas de sitio. El hongo de calor de los núcleos de población ha sido menospreciado en los estudios (Jones et al., 1990) y muy rebatido (Querada et al., 2007). Todo ello repercute en la fiabilidad de los datos, que corresponden sólo a estaciones ubicadas en la superficie continental, sin tener en cuenta la superficie oceánica que recubre casi el 75% del Planeta.



Fotografía 1.- Sensor de temperatura en Fort Morgan (Colorado).

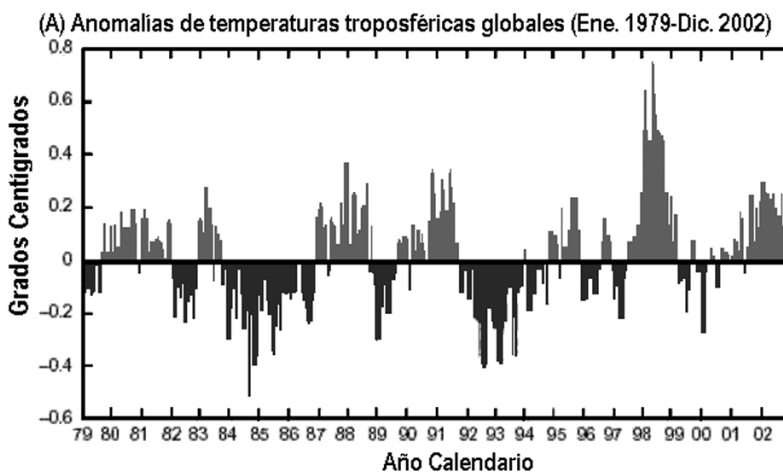


Figura 2.- Temperaturas mensuales de la baja troposfera en el período 1979-2002. Datos de satélites TITOS-N de la NASA. Fuente: Spencer and Christy (2003).

Los datos de temperatura de la baja troposfera –hasta 8 km de altura- obtenidos, de forma indirecta, por satélites contrastan con los conseguidos en tierra, ya que muestran desde 1979, fecha en que comenzaron las mediciones por satélite, una serie de períodos alternados de mayor o menor temperatura, oscilando en una banda de más-menos 0.4° C sin manifestar ninguna tendencia ya sea hacia el calentamiento o hacia el enfriamiento, destacando el pico de 1998 (Figura 2).

A finales de 2009 estalla el escándalo a raíz de unos correos electrónicos pirateados. Dos de los máximos responsables y defensores del cambio climático se ven implicados en el falseo de datos y niegan suministrar información. Se trata del ex director de la Unidad de Investigaciones Climáticas de la Universidad de East Anglia en el Reino Unido, Phil Jones, y de Wei Chyung Wang de la Universidad de Albany en Nueva York. La información que suministraron a cerca de que los glaciares del Himalaya se habrán derretido para el año 2035, fue inmediatamente desmentida por el gobierno Indio y posteriormente fue rectificada. Así nació el escándalo llamado “Climagate” –en similitud al Watergate- que sacudió de nuevo al IPCC. La cumbre del Cambio Climático se reunía solo unos días más tarde en Copenhague. El fracaso, como así fue, estaba pronosticado.

Antes de finalizar deseo hacer unas precisiones. Los gases invernadero encabezados como ya dije por el vapor de agua, a cuya generación por parte del hombre aún no hay oposición dado el ingente volumen que se produce de forma natural, son vitales para nuestro Planeta. De hecho si no existieran la temperatura media de la Tierra sería de 15° C bajo cero, es decir, 30° C menos que la temperatura actual. Si no hubiese aportaciones de dióxido de carbono a la atmósfera, éste se consumiría en solo un año por los organismos fotosintetizadores.

Del nuevo CO₂ que aporta la quema de combustibles fósiles al que se le atribuye el cambio climático, hay que decir que no todo queda en la atmósfera. El ciclo de carbono es muy dinámico. Los océanos son capaces de captar al menos un 35% de las emisiones y la biomasa fotosintética al menos un 15% de ellas. El agua de lluvia también contribuye a restar dióxido de carbono de la atmósfera, aunque este efecto ha sido poco evaluado.

Hasselmann (1997) insiste en que para resolver el incierto y controvertido papel del hombre sobre el calentamiento terrestre son necesarias más investigaciones sobre el papel de los aerosoles, las nubes y el acoplamiento océano-atmósfera.

El discutir el papel de los aerosoles, las nubes, el metano, etc. en el gobierno del clima es asunto que merece consideración por separado de las intenciones de este artículo, aunque de forma parcial ha sido anteriormente tratado por nosotros (López, 2010).

Por último citar que ahora hay quien piensa que, a juzgar por la duración de las edades interglaciales pasadas y las altas temperaturas del presente, se estaría marcando un fin que daría entrada a la siguiente edad glacial (Schlesinger, 2003). En este sentido los astrofísicos, particularmente los solares, reconocen la incidencia de los ciclos solares sobre el clima y desestiman que el calentamiento global sea causado por la emisión de gases de efecto invernadero, a favor del crecimiento de la actividad solar que daría lugar al calentamiento y viceversa (Abdusamatov, 2004 a, b y c). Desde 1983 se conoce que durante el período que abarca desde el año 1000 a 1950 la temperatura del aire siguió de manera muy estrecha la actividad cíclica del sol (Landscheidt, 1983). Los ciclos solares Schwabe-Gleissberg combinados ofrecen una buena correlación para

los últimos 400 años con las variaciones climáticas observadas, siendo especialmente buena la correlación en el período 1880-1983, que presentó una fuerte correspondencia entre la temperatura del hemisferio norte y el ciclo de once años de aparición de manchas solares (Soon et al., 1996) por lo que si se extrapola hacia el futuro se prevé la llegada de un nuevo período frío en pocas décadas, para el 2030 con máximos cercanos al final de este siglo. Este hecho no ha sido incluido en los escenarios del IPCC de futuros cambios en el clima (Mörner et al., 2003).

El impacto de las nubes sobre el clima debe ser también más estudiado. Aún duplicándose las tasas de CO₂ su efecto sería amortiguado con un 1% de aumento de la nubosidad. En 1997 científicos daneses publicaron que los cambios en la nubosidad medidos por satélites geoestacionarios coincidían con los cambios en la intensidad de llegada de radiación cósmica a la troposfera: a más radiación cósmica mayor formación de nubes, porque se ve favorecida la formación de núcleos de condensación. Cuando la actividad solar es mayor el viento solar aleja a los rayos cósmicos de la Tierra, se forman menos nubes y se presenta el calentamiento (Svensmark and Christensen, 1997; Marsh and Svensmark, 2000).

El profesor Carter de la Universidad australiana James Cook critica con dureza la actual y extendida hipótesis favorable al peligroso calentamiento global, que incluye la presunción de que el calentamiento del siglo XX fue sustancialmente causado por las emisiones humanas de dióxido de carbono. Su crítica se basa en que no se han cerrado las interrelaciones entre los incrementos de CO₂ durante la pasada centuria y los cambios de temperatura, en que las tasas y magnitud de cambio de las temperaturas caen dentro de límites naturales y que los modelos computerizados deterministas que se han utilizado para generar alarma social han sido incapaces de predecir el curso del cambio de la temperatura en el período 1990-2007 (incluso hasta 2009) y que, por tanto, menos serán capaces de predecir para el 2100.

Apunta también que respecto a las dos posibilidades climáticas futuras, el peligroso calentamiento o el peligroso enfriamiento, la evidencia sugiere que será el enfriamiento inminente. Primero, porque no han sido medidas temperaturas más cálidas globales desde 1998. Segundo, porque el calentamiento coincide con predicciones empíricas de futuro enfriamiento y con evidencia de decrecimiento de la actividad solar en las primeras décadas de este siglo y tercero porque el interglacial en el que vivimos ya ha superado los 10.000 años y será inevitable que a continuación venga una nueva glaciación (Carter, 2007).

Como conclusión final considero demasiado simplista la relación entre el aumento del dióxido de carbono y el aumento de la temperatura terrestre, puesto que la temperatura, como hemos visto a lo largo de este artículo, no es un factor regulado por un sólo parámetro, sino que son varios los factores intervinientes y los mecanismos de retroalimentación que actúan en la naturaleza. Aún quedan muchas investigaciones por realizar que puedan ofrecer series de datos más largas y aclarar el papel que puedan jugar otros factores que inciden sobre las variaciones climáticas. De cara al futuro más o menos cercano hay que pensar que los efectos de un enfriamiento, máxime si nos devuelve a una nueva era glacial, serían mucho más drásticos y perjudiciales para la humanidad que los de un calentamiento, sobre todo si éste es moderado.

BIBLIOGRAFÍA

Abdusamatov, H. 2004 a . About the long-term coordinated variations of the activity, radius, total irradiance of the Sun and the Earth' climate. *Proceeding of the International Astronomical Union*, 2004: 541-542.

Abdusamatov, H. 2004 b. Space solar limbograph. *Proceeding of the International Astronomical Union*, 2004: 605-606.

Abdusamatov, H. 2004 c. On long-term variations of the total irradiance and decrease of global temperature of the Earth after a maximum of xxiv cycle of activity and irradiance. *Bulletin of Crimea Observatory*, 103: 122-127.

Berner, R. A. and Kothavala, Z. 2001. GEOCARB III: A revised model of atmospheric CO₂ over Phanerozoic time. *American Journal of Science*, 301: 182-204.

Bergman, N. M., Lenton, T. M. and Watson, A. J. 2004. COPSE: A new model of biogeochemical cycling over Phanerozoic time. *American Journal of Science*, 304: 397-437.

Beyreri Bertomeu, E. 1933. *Historia de Tortosa y su Comarca*. Biblioteca Balmes. Barcelona.

Broecker, W. S., Kennett, J. P., Flower, B. P., Teller, J. T., Trumbore, S., Bonani, G. and Wolfli, W. 1989. Routing of meltwater from the Laurentide Ice Sheet during the Younger Dryas cold episode. *Nature*, 341: 318-321.

Broecker, W. S. 2001. Was the Medieval Warming Period global? *Science*, 291: 1497-1499.

Bruce, C. D. 1997. Global sea rise: a redetermination. *Surveys in Geophysics*, 18: 279-292.

Burckle, L. and Grissino-Mayer, H. D. 2003. Stradivari, violins, tree rings, and the Maunder Minimum: a hypothesis. *Dendrochronología*, 21: 41-45.

Carter, R. M. 2007. *The Mith of Dangerous Human-Caused Climate Change*. The AusIMM New Leader's Conference, Brisbane, QLD, 2-3 may 2007:61-74.

Chambers, D. P. 2003. Calibration and verification using global residuals with TOPEX. *Marine Geodesy*, 26: 305.

Cuffey, K. and Marshall, S. 2000. Substantial contribution to sea-level rise during the last interglacial from the Greenland ice sheet. *Nature*, 404: 591-594.

Dau. 1829. *Über die Torfmoore Seelands*. Copenhagen & Leipzig.

EFE. 2007. 2007 será el año más caluroso desde 1659, según el Servicio Meteorológico Británico. EFE -Londres- 04/01/2007.

EPICA COMMUNITY. 2004. "Eighth glacial cycles from an Antarctic ice core". *Nature* 429: 623-628.

EPICA COMMUNITY. 2006. "One to one coupling of glacial climate variability in Greenland and Antarctica". *Nature* 444: 195-198.

Finlayson, J. C., Barton, R. N. E. And Stringer, C. B. 2000. The Gibraltar Neanderthals and their extinction. In Zilhao, J., Aubry, T. And Carvalho, F. (Eds). *Les premières homes modernes de la Peninsule Ibérique. Trabalhos de Arqueología* 17: 117-122.

Hasselmann, K. 1997. Are we seeing global warming? *Science*, 276: 914-915.

Hasselmann, K., Latif, M., Hooss, G., Azar, C., Edenhofer, O., Jaeger, C., Johanennsen, O. M., Kemfert, C., Welp, M. and Wokaun, A. 2003. The challenge of long-term climate change. *Science*, 302: 1923-1925.

Hays, J. D., Imbrie, J. and Shackleton, N. J. 1976. Variation in the Earth's orbit: pacemaker of the ice ages. *Science*, 194: 1121-1132.

IPCC. 1990. *Climate Change. The IPCC Scientific Assessment*, Intergovernmental Panel on Climate Change, first assessment report (ed: J. T. Houghton et al) (Cambridge University Press: Cambridge).

IPCC. 1995. *Climate Change*, Intergovernmental Panel on Climate Change, second assessment report (ed: J. T. Houghton et al) (Cambridge University Press: Cambridge).

IPCC. 2001. *Climate Change 2001: The Scientific Basis*, Intergovernmental Panel on Climate Change, third assessment report (ed: J. T. Houghton et al) (Cambridge University Press: Cambridge).

IPCC. 2007. *Climate Change: The Physical Science Basis. Summary for Policymakers*, Intergovernmental Panel on Climate Change, four assessment report, Geneva, Switzerland.

Jaworowski, Z., Segalstad, T. V. and Ono, N. 1992. Do glaciers tell a true atmospheric CO₂ story? *The Science of the Total Environment*, 114: 227-284.

Jaworowski, Z. 1994. Ancient atmosphere – validity of ice records. *Environ. Sci. & Pollut. Res.*, 1 (3): 161-171.

Johnsen, S. J., Dansgaard, W., Clausen, H. B. and Langway, C. C. 1970. Climatic oscillation 1200-2000 AD. *Nature*, 227: 482-483.

Jones, P. D., Groisman P. Ya., Coughlan, M., Plummer, N., Wang, W-C. and Karl, T. R. 1990. Assessment of urbanization effects in time series of surface air temperature over land. *Nature*, 347: 169-172.

Kaspar et al., 2005. A model-data comparison of European temperatures in the Eemian interglacial. *Geophysical Research Letters*, 32, L11703.

Kirschvink, J. L., Gaidos, E. J., Bertani, L. E., Beukes, N. J., Gutzmer, J., Maepa, L. N. and Steinhilber, R. E. 2000. Paleoproterozoic snowball earth: Extreme climatic and geochemical global change and its biological consequences. *Proc. Nat. Acad. Sci.*, 97, 4: 1400-1405.

Landscheidt, T. 1983. Solar Oscillations, Sunspot Cycles and Climatic Change. In *Weather and Climatic Responses to Solar Variations*. Associated University Press. Boulder, Colorado.

Lea, D. W., Pak, D. K. and Spero, H. J. 2000. Climate impact of late Quaternary Equatorial Pacific sea surface temperature variations. *Science*, 289: 1719-1724.

López Fernández, A. 2007a. Cuando el Río suena...I. *Revista de la Mutualidad de Previsión Social de Orífices y Plateros de Córdoba*, 26: 21-24.

López Fernández, A. 2007b. Cuando el Río suena...II. *Revista de la Mutualidad de Previsión Social de Orífices y Plateros de Córdoba*, 27: 12-14.

López Fernández, A. 2010. Cambio Climático: cal y arena. *Conferencia pronunciada con motivo del Día del Instituto de Academias de Andalucía 2010, celebrado el 17 de Abril en Córdoba*. (en prensa).

Mann, M. E., Bradley, R. S. and Hughes, M. K. 1998. Global-scale temperature patterns and climate forcing over the past six centuries. *Nature*, 392: 779-787.

Marsh, N. D. and Svensmark, H. 2000. Low cloud properties influenced by cosmic rays. *Physical Review Letters*, 85: 5004-5007.

McIntyre, S. and Mckittrick, R. 2003. Corrections to the Mann et al. (1998) proxy data base and Northern hemispheric average temperature series. *Energy & Environment*, 14 (6): 751-771.

Milankovitch, M. 1930. *Mathematische Limalehre und Astronomische Theorie der Klimaschwankungen*. Vol. 1, Part A, *Handbuch der Klimatologie*, Koppen and Geiger, Eds., Gebruder Borntrager, 176 pp.

Mörner, N. A., Nevanlinna, H. and Shumilov, O. 2003. Past paleoclimatic changes, origin and prediction. *EGS-AGU-EUG Joint Assembly, Abstracts from the meeting held in Nice, France, 6-11 April*. Abstract 9545.

Murton, J.B., Bateman, M. D., Dallimore, S. R., Teller, J. T. and Yang, Z. 2010. Identification of Younger Dryas outburst flood path from Lake Agassiz to the Arctic Ocean. *Nature*, 464: 740-743.

North Greenland Ice Core Project members. 2004. High-resolution record of Northern Hemisphere climate extending into the last interglacial period. *Nature*, 431:147-151.

Oerlemans, J., Dahl-Jensen, D., Masson-Delmotte, V., Overpeck, J. T., Otto-Bliesner, B., Miller, G. H., Alley, R. B., Muhs, D. R. and Marshall, S. J. 2006. Ice sheets and sea level. *Science*, 313: 1043-1045.

Parrenin, F., Loulergue, L. and Wolf, E. 2007. EPICA Dome C Ice Core Timescales EDC₃, IGBP. World Data Center for Paleoclimatology. Data Contribution Series 2007-083 NOAA. NCDC Paleoclimatology Program, Boulder CO, USA.

Quereda Sala, J., Montón Chiva, E. y Escrig Barberá, J. 2007. Un análisis experimental del efecto urbano sobre las temperaturas. *Investigaciones Geográficas*, 43: 5-17.

Schlesinger, J. 2003. Climate change: the science isn't settled. *Washington Post*, 7 July, A17.

Schulte, P. et al. 2010. The Chicxulub asteroid impact and mass extinction at the Cretaceous-Paleogene boundary. *Science*, 327: 1214-1218.

Scotese, Ch. R. 2001. Paleomap Project. Scotese.com/climate.

Servicio Geológico EEUU, 2005. Carbon 14 records for last 1100 years (inverted scale). Solar activity events labeled. <http://pubs.usgs.gov/fs/fs-0095-00>

Shaviv, N. J. and Vaicer, J. 2003. Celestial driver of Phanerozoic climate? *GSA Today*, 371: 323-325.

Solanki, S. L. 2002. Solar variability and climate change: is there a link? *Astronomy and Geophysics*, 43: 5.9-5.13.

Soon, W., Posmentier, E. S. and Baliunas, S. 1996. Inference of solar irradiance variability from terrestrial temperature changes, 1880-1983: an astrophysical application of the sun-climate connection. *The Astronomical Journal*, 472: 891-902.

Soon, W. and Baliunas, S. 2003. Proxy climatic and environmental changes of the past 1000 years. *Climate Research*, 23: 89-110.

Spencer, R. and Christy, J. 2003. What microwaves teach us about the Stratosphere. www.ghcc.msfc.nasa.gov

Stommel, H and Stommel, E. 1983. *Volcano Weather. The Story of 1816, the Year Without a Summer*. Amazon.com.

Stothers, R. B. 1984. The great Tambora eruption in 1815 and its aftermath. *Science*, 224: 1191-1198.

Svensmark, H. and Christensen, E. F. 1997. Variation of cosmic ray flux and global cloud coverage. A missing link in solar-climate relationship. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 59,11: 1225-1232.

Taylor, K. C., Mayewsky, P. A., Alley, R. B., Brook, E. J., Gow, A. J., Grootes,

P. M., Meese, D. A., Saltzman, E. S., Severinghaus, J. P., Twickler, M. S., Whitlow, S. and Zielinski, G. A. 1997. The Holocene-Younger-Dryas transition recorded at Summit, Greenland. *Science*, 278: 825-827.

Turney, C. S. M. and Brown, H. 2007. Catastrophic early Holocene sea level rise, human migration and the neolithic transition in Europe. *Quaternary Science Review*, 26: 2036-2041.

von Grafenstein, U., Erlenkeuser, H., Brauer, A., Jouzel, J. and Johnsen, S. J. 1999. A Mid-European decadal isotope-climate record from 15.500 to 5.000 years BP. *Science*, 284: 1654-1657.

Wagner, F., Bohncke, S. J. P., Dilcher, D. L., Kürschner, W. M. van Geel, B. and Visscher, H. 1999. Century-scale shifts early Holocene atmospheric CO₂ concentration. *Science*, 284:1971-1973.

Wang, W. C., Yung, Y. L., Lacis, A.A., Mo, T. and Hansen, J. E. 1976. Greenhouse effects due to man-made perturbations of trace gases. *Science*, 194: 685-690.

Weber. 1926. *Grenzhorizont und Klimaschwankungen*. Abhandl. Naturwiss. Vereins. Bremen, 26: 98-106.

Wohletz, K. 2000. Werw the dark ages triggered by volcano-related climate changes in the 6th century? (If so, was Krakatau volcano the culprit?). *EOS Trans. Amer. Geophys Union*, 48 (81), F1305.