

## CAMBIO CLIMÁTICO: CALY ARENA

Ilmo. Sr. D. Aniceto López Fernández, Académico de Número de la  
Real Academia de Córdoba. Conferencia impartida en Córdoba  
el 17 de abril de 2010 con motivo del día de las Academias de Andalucía

### INTRODUCCIÓN

**E**xcmo. Sr. Alcalde de Córdoba,  
Excmo. Sr. Presidente del Instituto  
de Academias de Andalucía,  
Excmos. Sres. Presidentes o Directores de  
las Academias Andaluzas, Ilustre Cuerpo  
Académico, Dignísimas Autoridades, Señoras  
y Señores:

El tema que he elegido para disertar en un día tan especial como el de hoy es de la más candente actualidad y hasta cierto punto controvertido dentro de la comunidad científica. A la popularidad del Cambio Climático ha contribuido en gran medida las noticias que con frecuencia son difundidas por los medios de comunicación social. Voy a tratar en un margen de tiempo corto, como por otra parte es obligado en estos Actos, de exponerles un resumen de tal como está este asunto hoy día, con sus pros y sus contras, con sus defensores y sus detractores, con su cal y con su arena, todo impregnado de un tono de imparcialidad en la presentación de la información, aunque también incluiré ciertas apreciaciones personales.

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 que emite la Tierra, como consecuencia de la llegada de la radiación solar que es de un espectro diferente a la radiación que ella emite.

Todo este asunto sobre el cambio del clima surgió en 1988 cuando la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) crearon el Panel Intergubernamental de Expertos 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 a 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, achacándolo fundamentalmente a las emisiones de CO<sub>2</sub> 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 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 CO<sub>2</sub> 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.

### VARIACIONES CLIMÁTICAS Y GLACIACIONES

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. Muy atrás en el tiempo, en el Paleozoico, ocurrió una gran era glacial que duró al menos 100 millones de años. Más cercana, 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) en el que han participado diez países europeos, 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, y se 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 nitroso, etc. (EPICA COMMUNITY 2004, 2006). Es decir, que aquello que nos enseñaban de adolescentes en el Instituto 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.

Precisamente hace 120.000 años coincidiendo con el interglacial Riss-Würm es cuando surge como especie diferente el *Homo sapiens* que sale de África y empieza a extenderse por Oriente Medio, Europa, Asia y posteriormente a América del Norte. 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 de oxígeno en caparazones de

foraminíferos, dado que la concentración de oxígeno 18 en esos carbonatos es menor durante los períodos más fríos, lo que se interpreta como un efecto indirecto debido a la mayor retención de ese isótopo del oxígeno en el agua sólida. Ello ha permitido establecer en los últimos 450.000 años 13 estadios de los isótopos del oxígeno (Curva de Paleoglaciación) y cinco glaciaciones, es decir, aproximadamente una cada noventa o cien mil años, provocadas por cambios en la geometría de la órbita terrestre (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 sugiriera Milankovitch por los años treinta del siglo XX (MILANKOVITCH, 1930). Su hipótesis ha sido revisada en varias ocasiones por diversos investigadores afirmando que era cierto que los ciclos de insolación eran los responsables de las glaciaciones. No obstante, también hay detractores que niegan que una bajada de un 5% en la cantidad de insolación diaria sea capaz de producir una glaciación.

Las causas principales de las glaciaciones son astronómicas, independientemente de que en ciertas épocas puedan coadyuvar fenómenos como el vulcanismo, el descenso de los océanos o la elevación de la superficie continental, 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 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, van prácticamente siguiendo los meridianos, con lo que el desplazamiento hacia el sur de especies vegetales y animales se vio mucho más favorecido. Todo ello explica la gran diversidad que se encuentra en las regiones intertropicales.

Cuando llega el calentamiento y los hielos retroceden, el terreno libre que dejan es óptimo para nuevas colonizaciones de especies que avanzan progresivamente hacia el norte. El abandono de los hielos de antiguos glaciares y otras formas geomorfológicas da lugar a la aparición de numerosos lagos, que si nos referimos a los de nuestros días con este origen no tienen una edad que supere los 10-12.000 años coincidiendo con el final de la última glaciación. Por cierto, hay quien considera (BERNER et al., 2010) que en la llegada del último ciclo glacial intervinieron, además de las fuerzas de insolación, la sensibilidad del Atlántico Norte a la recepción de aguas dulces que causan la interrupción del normal funcionamiento de ciertas corrientes marinas.

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 día y la noche, consecuencia del giro de la Tierra, que ha venido sucediendo desde la aparición de la vida sobre ella y al que las especies se han ido adaptando y especializando de manera que su impacto actualmente es inapreciable. Un cambio un poquito más largo en el tiempo son los ciclos lunares o las estaciones, a los que también han sabido adaptarse las especies porque también su frecuencia de aparición es grande. La llegada de una glaciación cada 90.000 años causa un impacto mayor que los anteriores como hemos comentado, y no digamos nada de los sucesos que aparecen con una cadencia de millones de años, como la caída de grandes meteoritos, caso del que cayó en Yucatán hace sesenta y cinco millones de años y que acabó con muchas especies incluidos los grandes saurios, determinando un cambio muy

importante en la manera de funcionar de la Naturaleza (SCHULTE et al., 2010). En definitiva el daño que causa un determinado suceso es inversamente proporcional a su frecuencia de aparición: a menor frecuencia más daño sobre los ecosistemas.

El final de la última glaciación coincide con el calentamiento de Bölling-Alleröd que se produjo entre 14.700 y 12.900 AP, finalizando en ese momento por la llegada de un nuevo período muy frío llamado Younger Dryas, en honor de la planta *Dryas octopetala* típica de la tundra que conquistó de nuevo zonas meridionales de Europa.

El Younger Dryas se piensa que fue causado por la rotura de una pared del gran lago Agassiz, situado hacia el oeste de la región que hoy ocupan los grandes lagos americanos (Fig. 1), que incorporó en muy poco tiempo agua dulce y muy fría a través de lo que sería el actual río San Lorenzo al Atlántico provocando la interrupción de la Corriente del Golfo y de la Corriente Noratlántica Profunda (BROECKER et al., 1989), aunque el propio BROECKER (2006) reconoce su inhabilidad para identificar el camino tomado por las aguas, el cual posteriormente ha sido encontrado a través de la cuenca del río Mckenzie (MURTON et al., 2010). También es posible que interviniese en este fenómeno el aporte de aguas frías desde el Ártico a través del estrecho de Fram, e incluso un desagüe importante de agua de deshielo por la Bahía de Hudson (TARASOV & PELTIER, 2005). El caso es que las aguas del Atlántico Norte se vieron sometidas a un largo período de bajas temperaturas lo que repercutió con fuerza en Europa, dando lugar de nuevo a un enfriamiento casi glacial, que duró hasta hace 11.500 años.

A partir de ahí se produce un 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.

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 interglaciares 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.



Figura 1. Mapa del lago Agassiz dibujado en el siglo XIX por el geólogo Warren Upham.

El último interglacial, llamado Eemense (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. 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 & 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.

### CAMBIOS DURANTE EL FANEROZOICO

Antes de continuar nos deberíamos también preguntar ¿qué ha ocurrido con los

gases de invernadero antes del Holoceno o periodo en el que vivimos? Los gases invernadero son fundamentalmente el vapor de agua, el anhídrido carbónico ( $\text{CO}_2$ ), el metano ( $\text{CH}_4$ ) y el óxido nitroso ( $\text{NO}_2$ ). De ellos el más potente y responsable mayoritariamente del efecto, entre un 60-80%, es el vapor de agua, pero su concentración es variable localmente y a lo largo del tiempo. Por su parte, el metano es casi 30 veces más potente que el  $\text{CO}_2$  pero su concentración atmosférica es mucho menor. Desafortunadamente no se puede contar con registros de vapor de agua en el pasado, pero sí de los otros gases invernadero, siendo particularmente interesantes las del dióxido de carbono.

Desde hace 550 millones de años las concentraciones de  $\text{CO}_2$  han sido más elevadas que las de ahora (380 ppm), sólo entre hace 315-270 millones de años, coincidiendo con parte del Carbonífero y Pérmico se registraron unos niveles semejantes a los actuales, al igual que sucedió con la temperatura. Así en el primer periodo 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  $\text{CO}_2$  llegó a ser de hasta 7000 ppm, el máximo conocido, con temperaturas

medias de alrededor de 20° C, cinco grados más que ahora. En el Ordovícico unos 450 millones de años atrás 4400 ppm. En la Era Secundaria, por ejemplo en el Jurásico se alcanzaron entre 2000 y 3000 ppm, descendiendo los niveles de CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> y al final también bajan las temperaturas unos 80 millones de años después que comenzaran a bajar las tasas de CO<sub>2</sub> (BERNER & KOTHAVALA, 2001) (Fig. 2). Con posterioridad se llega a los ciclos glaciales del Cuaternario, que ya hemos comentado, solo añadir que en los interglaciales la concentración de CO<sub>2</sub> aumentaba, con la salvedad de que casi siempre los cambios térmicos precedían a los cambios de CO<sub>2</sub>. 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.

Cuando se alcanza el máximo de frío de la última glaciación, que 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., 2000), la concentración de CO<sub>2</sub> era de unas 200 ppm.

A partir de esa fecha comienzan lentamente a subir de manera que en Bölling-Alleröd ronda las 235 ppm y sigue subiendo, y esto merece atención, en el Younger Dryas donde llega a 265 ppm a pesar de ser como hemos visto un período frío. Sin embargo, otros gases invernadero como el metano, que suele seguir la pauta de crecimiento del CO<sub>2</sub> en los periodos interglaciales, sobre todo 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 las concentraciones de metano (Fig. 3) debido a que el frío reduciría la actividad biológica en las zonas productivas como las turberas y los suelos permafrost, y 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).

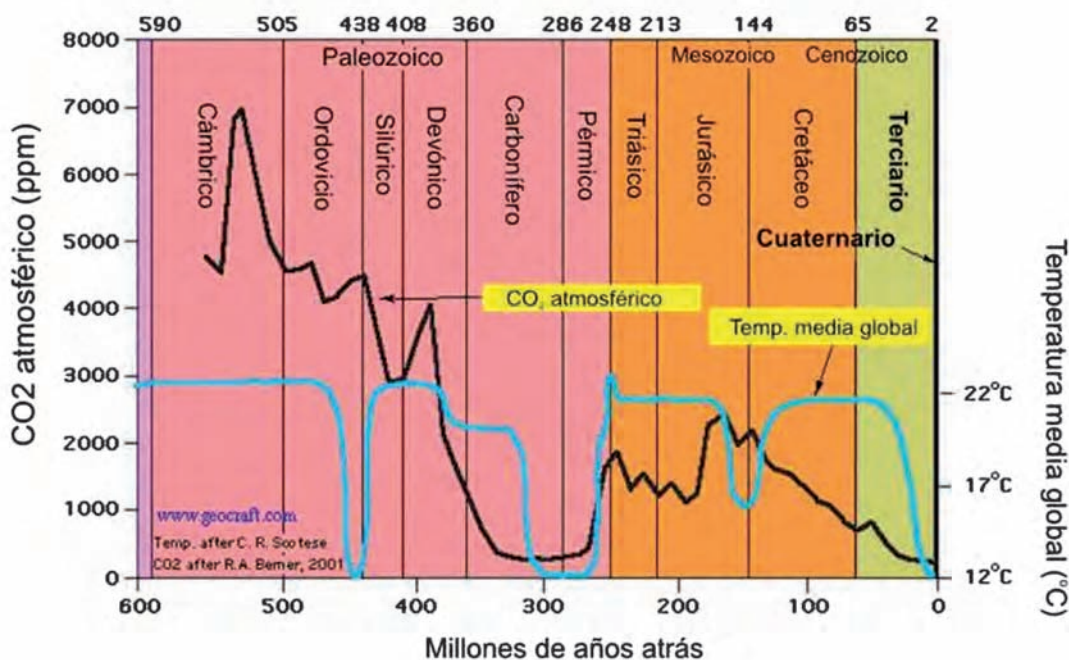


Figura 2. Evolución de los niveles de anhídrido carbónico y de la temperatura desde hace 550 millones de años (Fanerozoico). BERNER & KOTHAVALA (2001) y SCOTSE (2001).

## CAMBIOS DURANTE EL HOLOCENO

El calentamiento que da lugar al Holoceno fue rápido, en unas pocas decenas de años, por ejemplo se produjo en Groenlandia un ascenso próximo a los 10° C y las aguas del Atlántico norte se volvieron a calentar, volviendo las corrientes oceánicas a circular de un modo similar a como lo hacen hoy proporcionando a Europa un ascenso en varios grados de su temperatura. 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 forma uniforme sino intercalándose pulsos de rápido deshielo, como el que ocurrió hace 19.000 años, el segundo pulso en la primera fase del calentamiento Bölling-Alleröd, el tercero al comienzo del Holoceno, entre 11.500 y 11.000 años atrás y el cuarto, más pequeño, entre 8200 y 7600 años antes del presente, que se achaca a un nuevo drenaje del lago Agassiz y otros como

el Ojibwa, que para algunos fue el origen del diluvio universal (TURNER & BROWN, 2007).

En definitiva, el nivel del mar desde el último máximo glacial ha subido 120 m, cesando los pulsos de deshielo hace unos 6000 años, siendo desde entonces la elevación mucho más uniforme, de alrededor de 0,1 a 0,2 mm anuales hasta comienzos del siglo XX, durante el cual ha subido a razón de 1,8 mm/año (BRUCE, 1997) y en el período 1997-2003 a 2,8 mm/año (CHAMBERS, 2003).

Las concentraciones de CO<sub>2</sub> han permanecido muy estables una vez comenzado el Holoceno, alrededor de 230 ppm, aunque hacia 5.000 años antes del presente comenzó una ligera subida hacia las 250 ppm (PARRENIN et al., 2007), que culminaría hace algo más de un siglo con 280 ppm y a partir de ahí se ha incrementado a las 380 ppm actuales. Sin embargo, es posible distinguir ciertas variaciones en el clima durante estos últimos 11.000 años. En efecto, si acudimos a la Teoría Climática de Blytt-Sernander basada en estudios sobre turberas, en las que previamente DAU (1829) había detectado la presencia de capas, a la que se incorporó la presencia de horizontes separadores que identifican períodos tardíos glaciares (WEBER, 1926), la secuencia de zonas de polen y más recientemente dataciones con Carbono 14 y cocientes de los isótopos del oxígeno, se distingue un Estadio Boreal de

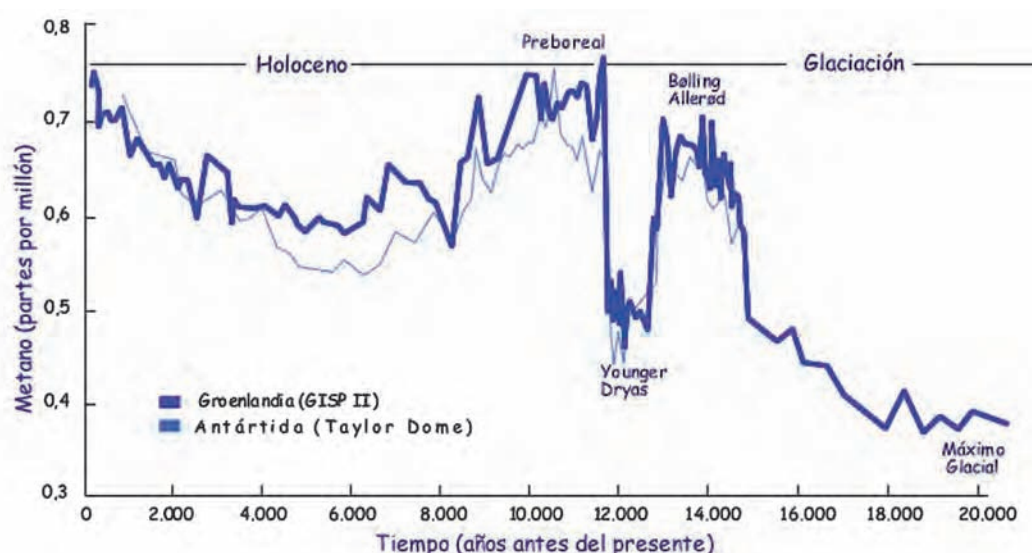


Figura 3. Evolución de la concentración de metano atmosférico en los últimos 20.000 años (hasta aproximadamente 1750). BROOK et al. (2000).

calentamiento rápido, entre el 11.500 y 8.900 BP, 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 BP con temperaturas medias más bajas, y después el Estadio Subatlántico que abarca hasta el presente. En él 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) y también un período frío entre 1450 y 1850 conocido como la Pequeña Edad del Hielo, con tres mínimos: el Mínimo de Spörer (1420-1570), el Mínimo de Maunder (1645-1715) y el Mínimo de Dalton (1790-1820), donde el hemisferio norte experimentó un enfriamiento de casi 1° C que se tradujo en avances de los glaciares, elevación en ciertas zonas de la pluviosidad, arriadas bien documentadas como las del Guadalquivir (LÓPEZ, 2007a y b), congelación del agua de ciertos ríos como el Ebro que se heló en siete ocasiones y hasta con quince días de duración entre 1505 y 1789 (BEYERRI, 1933), abundancia de pozos de nieve que constituyeron un negocio floreciente y ocuparon a buena parte de la población rural, etc. Incluso se apunta que los violines que se fabricaron al final del Mínimo de Maunder, como los Stradivarius, deben su calidad de sonido a la madera muy densa, debido a los finos anillos de crecimiento, de los abetos que vivieron durante ese tiempo (BURCKLE & GRISSINO-MAYER, 2003). Como argumentos explicativos de este período frío se proponen de manera sustantiva el aumento de la actividad volcánica y sobre todo la disminución de la actividad solar con un importante descenso en la aparición de manchas solares, lo que es conocido como el Mínimo de Maunder. En definitiva, hasta este momento de mediados del XIX lo que ha ocurrido es un calentamiento rápido que da lugar al Holoceno del que 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, auge o disminución de manchas solares e incluso intervención de otras causas internas

terrestres, etc. De la combinación en cada momento de ellas se ha atravesado por períodos de temperaturas más elevadas que las actuales hacia mitad del Holoceno o el Período Cálido Medieval, y por períodos de temperaturas más frías como sucedió hace 8200 años o en los finales del Estadio Atlántico hace 5500 años o la reciente Pequeña Edad del Hielo.

Se ha de hacer notar que todas estas variaciones climáticas, sobre todo las que dan tránsito al Holoceno y su propio comienzo, incidieron en la extinción de muchas especies, en las progresiones y regresiones de ecosistemas tropicales y de otras regiones, en la formación de lagos, etc., que sería prolijo detallar aquí, y que se produjeron con unas tasas poco variables de CO<sub>2</sub> en la atmósfera, de alrededor de 280-300 ppm con picos ya comentados de 330 ppm hacia el 11.000 AP.

## LOS PRIMEROS PRONÓSTICOS

A finales del XIX comienzan a subir las concentraciones de CO<sub>2</sub> atmosféricas, y la primera persona que postuló que las emisiones 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 (CALLENDAR, 1958), quien pronosticaba una subida de temperatura con las elevaciones del CO<sub>2</sub> (Efecto Callendar) (FLEMING, 2007), considerando que este calentamiento sería beneficioso al retrasar la llegada de la siguiente glaciación. PLASS (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 70 se produjo una disminución de las temperaturas que mostraba una tendencia al enfriamiento global, a pesar

de los incrementos del CO<sub>2</sub> que se seguían produciendo. Este periodo de enfriamiento ha sido poco tenido en cuenta por los científicos.

En esa década de los años 70 del siglo pasado se van tomando en consideración las mediciones dióxido de carbono que sistemáticamente desde algunos años atrás (1957) se realizaban en Mauna Loa en Hawai por el Dr. Keeling, que mostraban que el CO<sub>2</sub> atmosférico aumentaba año tras año. A finales de los 50 eran de 315 ppm y ahora como ya he dicho se encuentra en 380 ppm. Para algunos, Keeling es considerado como el descubridor del cambio climático y recibió la Medalla Nacional de la Ciencia de los Estados Unidos en 2002.

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, como ya he referido al principio de mi intervención, el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC), que emite sucesivos Informes basados en los registros de temperaturas y en modelos matemáticos que cubren distintos escenarios probables de subida de las concentraciones de CO<sub>2</sub> y del aumento del efecto invernadero, señalando los efectos o consecuencias que tendrían estos cambios climáticos sobre el Planeta en cada uno de los escenarios que se contemplan. El abanico de consecuencias que pronostican es muy amplio, algunas de las cuales cité al principio, y esto solo podría ser motivo de una exposición pormenorizada que además ya ha sido realizada brillantemente por el Dr. Roldán Cañas en nuestra Academia referida al Informe del IPCC de 2007.

No es necesario poner en evidencia el impacto económico que supone para muchos países la adopción de las medidas reductoras de emisiones de CO<sub>2</sub> propuestas por el famoso Protocolo de Kyoto, sobre todo, para las economías emergentes que tienen su base energética en el carbón, pero este es un tema merecedor de una exposición individualizada. Tampoco es necesario remarcar la gran

cantidad de Proyectos de Investigación que se están realizando, y se han realizado, con motivo del cambio climático y sus consecuencias.

## LA CONTROVERSIA

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 estos titulan a los otros de negacionistas. ¿En qué se basan las críticas? Pues fundamentalmente en la falta de fiabilidad de los datos que se manejan 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. Recalcaré algunos de ellos.

Los registros de CO<sub>2</sub> 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, en el discurso que pronunció en el Senado de los EEUU en 2004, y recogido en sus artículos (JAWOROWSKI et al., 1992; JAWOROWSKI, 1994), expuso que los cilindros de hielo no cumplen los criterios esenciales de los sistemas cerrados como es la ausencia de agua líquida en el hielo, aún el hielo más frío de la Antártida (-73° C) contiene agua líquida, lo que contribuye a la alteración de la composición original de las burbujas de aire incluidas en el hielo polar. La formación por debajo de 200 m de clatratos sólidos de CO<sub>2</sub>, 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 CO<sub>2</sub> para mostrar cómo ha ido ascendiendo desde entonces el CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> atmosférico procedentes de muestras de hielo de Europa, Norteamérica y Perú entre 1860 y 1900 que utilizó para calcular la media de CO<sub>2</sub> 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) fue usada como buque insignia por el IPCC en su Informe de 2001, una curva que omite el Período Cálido Medieval y La Pequeña Edad del Hielo, procedente de un estudio pobre en metodología que ha sido fuertemente criticado (McINTYRE & MCKITRICK, 2003), y que ha llevado a pedir disculpas a la propia Revista editora.

Se publica por la NASA que el año más cálido de la historia moderna fue 1998, aunque después corrigió a 1934, pero en los últimos diez años no han seguido subiendo las temperaturas. De hecho se aventuraba que 2007 iba a ser el año más caluroso de la historia, pero finalmente ocupó el séptimo lugar tomando en cuenta las mediciones realizadas en la superficie de la Tierra, aunque los datos proporcionados por satélites que miden la temperatura de la baja troposfera (RSS MSU) indican que fue uno de los años más fríos de la década anterior, a poca distancia de 1997 y 2000, que registraron las temperaturas más bajas en ese período. De otro lado, 2008 fue el año más frío de este siglo. Para España, según la Agencia Estatal de Meteorología, ocupa el puesto 32 desde 1971 en cuanto a crecimiento de temperaturas medias se refiere. La curva en “palo de hockey” queda también por esta circunstancia derogada. Los datos de 2009 indican que ha vuelto a ser caluroso, pero sin romper registros.

En la toma de temperaturas terrestres han sido muy criticados la ubicación de algunos sensores que se han utilizado para el cálculo de las temperaturas medias, generalmente por estar muy próximos 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 algunos. 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 rebatida (p. ej. QUEREDA et al., 2007). Todo ello repercute en la fiabilidad de los datos. 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 acerca 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” 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, 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 CO<sub>2</sub> 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, y los organismos que vivieron y viven en ellos, han actuado desde hace millones de años restando carbono que ha pasado a la fase sedimentaria quedando aislado del ciclo general durante mucho tiempo, al igual que ocurrió con las plantas que dieron lugar a los combustibles fósiles. Este carbono aislado por los océanos, tras la emergencia de ciertos fondos oceánicos es el que conforma todas las rocas calizas que conocemos. Es decir el océano supo reaccionar en tiempos pretéritos disminuyendo la cantidad de carbono circulante. Actualmente el océano tiene amplias áreas, sobre todo en latitudes altas que actúan de sumidero de CO<sub>2</sub>, bien es verdad que hay otras zonas, como los afloramientos de aguas

frías, que devuelven dióxido de carbono, pero el balance hoy es muy favorable a las primeras. Así el océano absorbe al menos un 35% de las emisiones de CO<sub>2</sub>, siendo particularmente efectivos los océanos meridionales que, en concreto para el 2008, han absorbido el 40% del dióxido de carbono antropogénico (KHATIWALA et al., 2009). Por su parte la vegetación, incluido el plancton oceánico, reacciona ante los incrementos de CO<sub>2</sub> con un aumento de la actividad fotosintética que se traduce en un aumento de biomasa que resta al menos un 15% de las emisiones. El agua de lluvia también actúa disolviendo CO<sub>2</sub> atmosférico dando lugar a ácido carbónico que rebaja el pH del agua de lluvia incluso hasta el valor de 5,6 (GORHAM, 1984). Este carbónico es el que actúa sobre las calizas y modela los paisajes cársticos, incluidas las formaciones travertínicas, acumuladoras de carbono, como las que han sido estudiadas por nosotros en Córdoba, que datan las más antiguas hasta ahora estudiadas de mediados del Eemense (LÓPEZ y RECIO, 2006; LÓPEZ, 2007c). Hay que considerar que anualmente caen sobre los océanos del orden de 346.000 km<sup>3</sup> de precipitación y sobre los continentes unos 100.000 km<sup>3</sup> (DUSSART, 1966), que contribuyen más o menos localmente a sacar dióxido de carbono de la atmósfera, aunque no se cuenta con cifras sobre este particular. En definitiva, algo menos del 50% de las emisiones de CO<sub>2</sub> son las que permanecen en la atmósfera durante períodos prolongados de tiempo. En el ciclo del carbono la atmósfera representa el compartimiento de menor cuantía con 600 unidades, la biosfera tiene 3000 y los océanos 40.000 unidades (petagramos = 10<sup>15</sup>g) (SARMIENTO & GRUBER, 2006).

La concentración en aumento de otros gases invernadero como el metano es muy difícil de controlar. El aumento de metano atmosférico durante el siglo pasado ha sido considerable. Desde 1978 hasta 2001 ha pasado de 1,5 ppm a 1,78, aunque el ritmo de incremento desde entonces ha disminuido. Las razones de que sea ahora casi nulo el incremento interanual no son del todo conocidas. Se piensa en cambios en la química atmosférica que acelerarían su destrucción o en una disminución de las emisiones (DLUGOKENCKY et al., 1998; BOUSQUET et al., 2006). Las emisiones naturales y antropogénicas están muy niveladas incluyendo entre las primeras los cultivos de arroz y entre las segundas la

ganadería. Recientemente se han descubierto nuevas fuentes naturales procedentes del permafrost sumergido de la plataforma ártica de Siberia Oriental que está filtrando metano hacia la atmósfera (SHAKHOVA et al., 2010). De otra parte, las emisiones procedentes de las plantas que han sido puestas de manifiesto por investigadores del Instituto Max Planck de Heidelberg (Alemania), vienen a explicar las "nubes" de metano detectadas por satélite sobre los bosques tropicales sudamericanos (KEPPLER et al., 2006). Entre las fuentes que genera el hombre citemos la quema de biomasa, los vertederos, los escapes desde minas de carbón o desde las conducciones de gas natural, etc. La actuación futura sobre el control (disminución) de las emisiones procedentes de la ganadería y la agricultura con especial referencia a los cultivos de arroz, se torna impensable por lo que contribuyen a la alimentación humana.

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. Es reconocida la dificultad que supone la investigación de los ecosistemas marinos aislando el cambio climático de otros agentes estresantes (HURRELL, 2009). Hasta el momento no se dispone de medidas lo suficientemente prolongadas que muestren la acidificación de los océanos y cuál es su rango de variabilidad natural. Sí se han realizado estudios, por ejemplo, sobre la incidencia de la variación del pH en los corales (PELEJERO et al., 2005) o en el plancton (WOLF-GLADROW et al., 2003). También se ha estimado que desde la época preindustrial hasta el año 2000 el pH del océano ha disminuido en 0,1 unidades, estimándose por modelos que el decrecimiento podría llegar a 0,77 unidades en el 2300, aunque se admite que cuando los cambios de CO<sub>2</sub> ocurren durante períodos largos de tiempo la interacción con los carbonatos reduce la sensibilidad de las aguas oceánicas a los cambios de pH (CALDEIRA & WICKETT, 2003).

Respecto de los aerosoles, que son partículas muy pequeñas suspendidas en el aire de origen tanto natural como humano, se encuentra un cierto acuerdo en que constituyen una gran fuente de incertidumbre en los modelos de cambio climático, puesto que actúan reflejando la radiación solar

comportándose de forma inversa al dióxido de carbono. Además los aerosoles pesados forman capas nubosas más persistentes que reflejan cantidades tremendas de radiación solar al espacio. Las investigaciones, que esperan obtener series largas de datos, se realizan a través de satélites como el *Terra* de la NASA lanzado en 1999. En Europa merece ser citado el *Proyecto Globaerosol* que recoge datos desde 1995 hasta el presente y en el que participa la empresa española GMV.

Resulta paradójico comprobar como en los años 70 del siglo pasado se temía el enfriamiento del Planeta debido a los aerosoles. BRYSON & WENDLAND (1970) propusieron por vez primera que la contaminación atmosférica – incluye los aerosoles- causada por los humanos era suficiente para explicar el declive de las temperaturas de la década anterior. RASOOL y SCHNEIDER (1971) pronosticaban la llegada de una nueva edad del hielo si las concentraciones atmosféricas de aerosoles se multiplicaban por 4. MITCHELL (1970, 1971) no creía suficiente la adición de partículas a la atmósfera para explicar el período de enfriamiento que transcurría en esos años, pero contempló la posibilidad de que a largo plazo el enfriamiento causado por los aerosoles podría sobrepasar al calentamiento causado por el entonces llamado “efecto CO<sub>2</sub>”. Sin embargo, conforme avanzaba la década de los 70 iban apareciendo cada vez más publicaciones a favor del calentamiento global (MITCHELL, 1972; SAWYER, 1972; KELLOG & SCHNEIDER, 1974; MANABE & WETHERALD, 1975; SCHNEIDER, 1975; WANG et al., 1976; FLOHN, 1977; NORDHAUS, 1977; MERCER, 1978; STUIVER, 1978; CHARNEY et al., 1979; HOYT, 1979, etc.).

Hoy día la lista de los defensores a ultranza del calentamiento por el CO<sub>2</sub>, del cambio climático o del cambio global, como queramos llamarlo, es tremendamente extensa e incluye a los miembros del IPCC, empezando por su creador Bert R. Bolin experto en simulaciones por ordenador y por Yvo de Boer, máximo responsable de la ONU para el Cambio Climático que dimitió tras el fracaso de Copenhague (HAACK, 2010), a políticos como Al Gore, a reconocidos científicos entre los que podemos citar al español José Manuel Moreno y muchos otros, Nicolas Gruber, Stephen Schneider, fundador de la revista Cambio Climático, Peter Reich, que ha sido premiado por la Fundación BBVA, al igual que

Klaus Hasselmann, fundador del Instituto Max Plack de Meteorología, etc. Al igual que lo es la lista de detractores entre los que se encuentran prestigiosos investigadores (CARTER, 2007, JAWOROWSKI, 2007, etc.), escritores científicos (LOMBORG, 2005; 2008; CAMPOS, 2005), incluso ex miembros del IPCC (GRAY, 1998; 2002; 2006; 2007), etc. Llama la atención que 31.000 científicos americanos hayan firmado una petición al gobierno de los EEUU rechazando el protocolo de Kyoto en la que se puede leer: “No hay ninguna evidencia científica convincente de que la producción humana de dióxido de carbono, metano, u otros gases invernadero esté causando o que, en un futuro previsible, pueda causar un calentamiento catastrófico de la atmósfera de la Tierra y la alteración del clima de la Tierra”.

Por último citar que ahora, al igual que ocurrió en los años 70 sobre el enfriamiento global, del que se demuestra que no hubo consenso científico (PETERSON et al., 2008), hay quien piensa que, a juzgar por la duración de las edades interglaciares 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). Los ciclos solares Schwabe-Gleisberg combinados ofrecen una buena correlación para los últimos 400 años con las variaciones climáticas observadas, siendo especialmente buena la correlación en el período 1860-1985, 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 profesor Carter de la Universidad de Townsville 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 del gas de efecto invernadero, dióxido de carbono. Su crítica se basa en que no se han

cerrado las interrelaciones entre los incrementos de CO<sub>2</sub> 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 previos 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 1990-2006 (ampliable a 2009) y, por tanto, menos aún lo serán 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 op. cit.). Así está la situación al día de hoy, atrévanse a pensar Vds. mismos en lo que va a suceder en las décadas venideras.

Y finalizo con una frase de Miguel de Cervantes de su obra *Persiles y Segismunda*, que nos advierte de cómo debemos obrar ante estas situaciones:

*El hombre prudente debe juzgar los futuros acontecimientos por los que ha habido en el pasado y los que se suceden en el presente.*

## 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. 2004b. Space solar limbograph. *Proceeding of the International Astronomical Union* 2004: 605-606.
- ABDUSAMATOV H. 2004c. 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. & KOTHAVALA Z. 2001. GEOCARB III: A revised model of atmospheric CO<sub>2</sub> over Phanerozoic time. *American Journal of Science* 304: 397-437.
- BERNER K.S., KOÇ N. & GODTLIEBSEN F. 2010. High frequency climate variability of the Norwegian Atlantic Current during the early Holocene period and a possible connection to the Gleissberg cycle. *The Holocene* 20: 245-255.
- BEYERRI BERTOMEU E. 1933. *Historia de Tortosa y su Comarca*. Biblioteca Balmes, Barcelona.
- BROOK E.J. 2000. On the origin and timing of rapid changes in atmospheric methane during the last glacial period. *Global Biogeochemical Cycles* 14, 2: 559-572.
- BRYSON R.A. & WENDLAND W.M. 1970. *Climatic Effects of Environmental Pollution*. S. F. Singer, Ed. Springer-Verlag/ D. Reidel: 130-138.
- BOUSQUET P., CIAIS P., MILLER J.B., DLUGOKENCKY E.J., HAUGLUSTAINE D.A., PRIGENT C., VAN DER WERF G.R., PEYLIN P., BRUNKE E. J., CAROUGE C. et al. 2006. Contribution of anthropogenic and natural sources to atmospheric methane variability. *Nature* 443: 439-443.
- BROECKER W.S., KENNETT J.P., FLOWER B.P., TELLER J.T., TRUMBORE S., BONANI G. & 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.
- BROECKER W.S. 2006. Was the Younger Dryas triggered by a flood? *Science* 312: 1146-1148.
- BRUCE C.D. 1997. Global sea rise: a redetermination. *Surveys in Geophysics* 18: 279-292.
- BURCKLE L. & GRISSINO-MAYER H.D. 2003. Stradivari, violins, tree rings, and the Maunder Minimum: a hypothesis. *Dendrochronologia* 21: 41-45.
- CALDEIRA K. & WICKETT, M.E. 2003. Oceanography: anthropogenic carbon and ocean pH. *Nature* 425: 365.
- CALENDAR, G.S. 1958. On the amount of carbon dioxide in the atmosphere. *Tellus* 243-248.

- CAMPOS NIETO L.C. 2005. *Calor Glacial*. Arcopress.
- 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.
- CHARNEY J.G. & Coauthors. 1979. *Carbon Dioxide and Climate: A Scientific Assessment*. National Academic of Science, 22 pp.
- CUFFEY K. & MARSHALL S. 2000. Substantial contribution to sea-level rise during the last interglacial from the Greenland ice sheet. *Nature* 404: 591-594.
- DAU H. 1829. *Über die Torfmoore Seelands*. Copenhagen & Leipzig.
- DLUGOKENCKY E.J., MASARIE K.A., LANG P.M. & TANS P.P. 1998. Continuing decline in the growth rate of the atmospheric methane burden. *Nature* 393: 447-450.
- DUSSART B. 1966. *Limnologie. L'étude des eaux continentales*. Gauthier-Villars, Paris.
- EPICA COMMUNITY. 2004. "Eight 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. & STRINGER C.B. 2000. The Gibraltar Neanderthals and their extinction. In ZILHAO J., AUBRY T. & CARVALHO F. (Eds.). *Les premieres homes modernes de la Peninsule Ibérique*. *Trabalhos de Arqueologia* 17: 117-122.
- FLEMING J.R. 2007. *The Callendar Effect: the life and work of Guy Stewart Callendar (1898-1964)*. Amer. Meteor. Soc., Boston.
- FLOHN H. 1977. Climate and energy: a scenario to a 21<sup>st</sup> century problem. *Climatic Change* 1: 5-20.
- GORHAM E. 1984. Acid rain: an overview. In BHUMRAKAR C.M. (ed.). *Meteorological Aspects of Acid Rain*. Butterworth Publishers.
- GRAY V. 1998. The IPCC scenarios; are they plausible? *Climate Research* 10: 155-162.
- GRAY V. 2002. *The Greenhouse Delusion. A critique of "Climate Change 2001"*. Multi-Science Publishing Co Ltd: Essex. 95 pp.
- GRAY V. 2006. Temperature trends in the lower atmosphere. *Energy and Environment* 17: 707-714.
- GRAY V. 2007. Climate change 2007: the physical science basis; summary for policymakers. *Energy and Environment* 18: 433-440.
- HAACK I. 2010. *El Día de Córdoba*. 19 de Febrero de 2010. p. 40.
- HASELMANN K. 1997. Are we seeing global warming? *Science* 276: 914-915.
- HASELMANN K., LATIF M., HOOS G., AZAR C., EDENHOFER O., JAEGER C., JOHANENNSSEN O.M., KEMFERT C., WELP M. & WOKAUN A. 2003. The challenge of long-term climate change. *Science* 302: 1923-1925.
- HAYS J. D., IMBRIE J. & SHACKLETON N. J. 1976. Variation in the Earth's orbit: pacemaker of the ice ages. *Science* 194: 1121-1132.
- HOYT D.V. 1979. An empirical determination of the heating of the Earth by the carbon dioxide greenhouse effect. *Nature* 282: 388-390.
- HURRELL J.W. 2009. Understanding global climate variability and its effects on marine ecosystems. *Eos Trans. AGU* 90 (46): 429.
- IPCC. 1990. *Climate Change. The IPCC Scientific Assessment*, Intergovernmental Panel on Climate Change, first assessment report. J.T. Houghton et al. (ed.). Cambridge University Press, Cambridge.
- IPCC. 1995. *Climate Change*, Intergovernmental Panel on Climate Change, second assessment report. J.T. Houghton et al. (ed.). Cambridge University Press, Cambridge.
- IPCC. 2001. *Climate Change 2001: The Scientific Basis*, Intergovernmental Panel on Climate Change, third assessment report. J.T. Houghton et al. (ed.). 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. & ONO N. 1992. Do glaciers tell a true atmospheric CO<sub>2</sub> 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.
- JAWOROWSKI Z. 2007. CO<sub>2</sub>: the greatest scientific scandal of our time. *Executive Intelligence Review* 34 (11): 38-53.
- JONES P.D., GROISMAN P.Y., COUGHLAN M., PLUMMER N., WANG W-C. & KARL, T.R. 1990. Assessment of urbanization effects in time series of surface air temperature over land. *Nature* 347: 169-172.
- KASPAR F., KUHLE N., CUBASCH U. & LITT T. 2005. A model-data comparison of European temperatures in the Eemian interglacial. *Geophysical Research Letters* 32, L11703.
- KELLOGG W.W. & SCHNEIDER S.H. 1974. Climate stabilization: for better or for worse? *Science* 186: 1163-1172.
- KEPPLER F., HAMILTON J.T.G., BRAE M. & RÖCKMANN T. 2006. Methane emissions from terrestrial plants under aerobic conditions. *Nature* 439: 187-191.
- KHATIWALA S., PRIMEA, F. & HALL T. 2009. Reconstruction of the history of anthropogenic CO<sub>2</sub> concentration in the ocean. *Nature* 462: 346-349.
- LEA D.W., PAK D.K. & SPERO H.J. 2000. Climate impact of late Quaternary Equatorial Pacific sea surface temperature variations. *Science* 289: 1719-1724.
- LOMBORG B. 2005. *El Ecologista Escéptico*. Espasa-Calpe.
- LOMBORG B. 2008. *En Frío. Guía del Ecologista Escéptico para el Cambio Climático*. Espasa-Calpe.
- LÓPEZ FERNÁNDEZ A. y RECIO ESPEJO J.M. 2006. Aportación a la cronología de los edificios travertínicos del Arroyo del Molino (Córdoba, España). *Libro de Resúmenes del XIII Congreso de la Asociación Española de Limnología y V Congreso Ibérico de Limnología*. Barcelona. p. 123.
- 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. 2007c. Los travertinos de Santa María de Trassierra (Córdoba, España). *Boletín de la Real Academia de Córdoba* 152: 81-94.
- MANABE S. & WEATHERALD R.T. 1975. The effects of doubling the CO<sub>2</sub> concentration on the climate of a general circulation model. *J. Atmos. Sci.* 32: 3-15.
- MANN M.E., BRADLEY R.S. & HUGHES M.K. 1998. Global-scale temperature patterns and climate forcing over the past six centuries. *Nature* 392: 779-787.
- MCINTYRE S. & MCKITRICK R. 2003. Corrections to the Mann et al. (1998) proxy data base and Northern hemispheric average temperature series. *Energy & Environment* 14 (6): 751-771.
- MERCER J. H. 1978. West Antarctic ice sheet and CO<sub>2</sub> greenhouse effect: a threat of disaster. *Nature* 271: 321-325.
- MILANKOVITCH M. 1930. *Mathematische Limnologie und Astronomische Theorie der Klimaschwankungen*. Vol. 1, Part A, *Handbuch der Klimatologie*, Koppen & Geiger, Eds., Gebrüder Bornträger, 176 pp.
- MITCHELL, J.M. Jr. 1970. A preliminary evaluation of atmospheric pollution as a cause of the global temperature fluctuation of the past century. *Global Effects of Environmental Pollution*. S. F. Singer, Ed., Springer-Verlag/D. Reidel: 139-155.
- MITCHELL J.M. Jr. 1971. The effects of atmospheric aerosols on climate with special reference to temperature near the Earth's surface. *J. Appl. Meteor.* 10: 703-714.
- MITCHELL J.M. Jr. 1972. The natural breakdown of the present interglacial and its possible intervention by human activities. *Quart. Res.* 2: 436-445.
- MÖRNER N.A., NEVANLINNA H. & 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. & YANG Z. 2010. Identification

- of Younger Dryas outburst flood path from Lake Agassiz to the Arctic Ocean. *Nature* 464: 740-743.
- NORDHAUS W.D. 1977. Economic growth and climate: the carbon dioxide problem. *Amer. Econ. Rev.* 67: 341-346.
- 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. & MARSHALL S.J. 2006. Ice sheets and sea level. *Science* 313: 1043-1045.
- PARRENIN F., LOULERGUE L. & WOLF E. 2007. EPICA Dome C Ice Core Timescales EDC<sub>3</sub>. IGBP. World Data Center for Paleoclimatology. Data Contribution Series 2007-083 NOAA. NCDC Paleoclimatology Program, Boulder CO, USA.
- PELEJERO C., CALVO E., MCCULLOCH M.T., MARSHALL J. F., GAGAN M.K., LOUGH J.M. & OPDYKE B. N. 2005. Preindustrial to modern interdecadal variability in coral reef pH. *Science* 309 (5744): 2204-2207.
- PETERSON T. C., CONNOLLEY W.M. & FLECK J. 2008. The myth of the 1970s global cooling scientific consensus. *American Meteorological Society*, September 2008: 1325-1337.
- PLASS G.N. 1956. The carbon dioxide theory of climatic change. *Tellus* VIII: 140-154.
- QUEREDA SALA J., MONTÓN CHIVA E. & ESCRIG BARBERÁ J. 2007. Un análisis experimental del efecto urbano sobre las temperaturas. *Investigaciones Geográficas* 43: 5-17.
- RASOOL S.I. & SCHNEIDE S.H. 1971. Atmospheric carbon dioxide and aerosols: effects of large increases on global climate. *Science* 173: 138-141.
- SARMIENTO J.L. & GRUBER N. 2006. *Ocean Biogeochemical Dynamics*. Princeton University Press, 526 pp.
- SAWYER J. S. 1972. Man-made carbon dioxide and the "greenhouse" effect. *Nature* 239: 23-26.
- SCHLESINGER J. 2003. Climate change: the science isn't settled. *Washington Post* 7 July, A17.
- SCHNEIDER S. H. 1975. On the carbon dioxide-climate confusion. *J. Atmos. Sci.* 32: 2060-2066.
- SCHULTE, P. et al. 2010. The Chicxulub asteroid impact and mass extinction at the Cretaceous-Paleogene boundary. *Science* 327: 1214-1218.
- SHAKHOVA N., SEMILETOV I., SALYUK A., YUSUPOV V., KOSMACH D. & GUSTAFSSON Ö. 2010. *Science* 327 (5970): 1246-1250.
- STUIVER M. 1978. Atmospheric carbon dioxide and carbon reservoir changes. *Science* 199: 253-258.
- TARASOV L. & PELTIER W.R. 2005. Arctic freshwater forcing of the Younger Dryas cold reversal. *Nature* 435: 662-665.
- 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. & ZIELINSKI G.A. 1997. The Holocene- Younger-Dryas transition recorded at Summit, Greenland. *Science* 278: 825-827.
- TURNER C.S.M. & 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., ERLKENKEUSER H., BRAUER A., JOUZEL J. & 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., DILCHE, D.L., KÜRSCHNER W.M. VAN GEEL B. & VISSCHER H. 1999. Century-scale shifts early Holocene atmospheric CO<sub>2</sub> concentration. *Science* 284: 1971-1973.
- WANG W.C., YUNG Y.L., LACIS A.A., MO T. & HANSEN J.E. 1976. Greenhouse effects due to man-made perturbations of trace gases. *Science* 194: 685-690.
- WEBER C.A. 1926. *Grenzhorizont und Klimaschwankungen*. Abhandl. Naturwiss. Vereins. Bremen 26: 98-106.
- WOLF-GLADROW D.A., RIEBESELL U., BURKHARDT S. & BIJMA J. 1999. Direct effects of CO<sub>2</sub> concentration on growth and isotopic composition of marine plankton. *Tellus* 51 (2): 461-476.