

## El intervalo entre temperatura y CO<sub>2</sub>

Eric Steig en Realclimate (17/04/2010)

Cuando doy charlas acerca del cambio climático, la pregunta que se plantea con más frecuencia es esta: "¿No es cierto que la relación entre el CO<sub>2</sub> y la temperatura en el registro de muestras de hielo indica que el crecimiento de la temperatura antecede al del CO<sub>2</sub> y no al revés?".

Cuando se plantea, parece una pregunta razonable. No sorprende que surja, porque es una de las afirmaciones más habituales de los negacionistas del calentamiento global. Consiguió un perfil de difusión particularmente alto cuando el congresista Joe Barton la usó para intentar desacreditar el testimonio en el congreso de Al Gore. Esto es lo que dijo Barton:

En su película, muestra una línea de tiempo de la temperatura y la compara con los niveles de CO<sub>2</sub> en un período de más de 600.000 años, reconstruido a partir de muestras de hielo. Indica usted que es la prueba concluyente del vínculo entre el incremento de las emisiones de CO<sub>2</sub> y el calentamiento global. Pero un examen más atento de estos hechos revela algo totalmente diferente. Tengo un artículo de la revista *Science* que añadiré a los registros en el momento oportuno que explica que, históricamente, un crecimiento de las concentraciones de CO<sub>2</sub> no precedió a un crecimiento de las temperaturas, sino que en realidad se produjo entre 200 y 1.000 años después. Los niveles de CO<sub>2</sub> se produjeron después del aumento de la temperatura. Es la temperatura la que parece impulsar el CO<sub>2</sub>, no al revés. En este punto, señor Vicepresidente, no está un poco apartado de la realidad. Está totalmente equivocado.

Desde luego, los que hayan prestado atención reconocerán que Gore no está en absoluto equivocado. Este tema ha sido muy bien tratado en numerosos sitios. El colaborador invitado Jeff Severinghaus lo trató en [uno de nuestros primeros posts de RealClimate](#) (1), ya en 2004. Sin embargo, la pregunta no deja de plantearse y Jeff recibió recientemente una carta en la que le preguntaba sobre ello. A continuación expongo mis ideas sobre el tema.

En primer lugar, decir "históricamente" es equívoco, porque en realidad Barton está hablando de cambios de CO<sub>2</sub> en escalas de tiempo muy grandes (glacial-interglacial). En las escalas de tiempo históricas es evidente que el aumento del CO<sub>2</sub> ha impulsado la temperatura, en lugar de ser posterior. Pero en cualquier caso, en realidad eso no importa para el problema que estamos tratando (el calentamiento global). Sabemos por qué está aumentando ahora el CO<sub>2</sub> y los efectos radiativos del CO<sub>2</sub> sobre el clima se conocen desde hace más de 100 años. En ausencia de la intervención humana, el CO<sub>2</sub> aumenta y se reduce con el tiempo, por los intercambios de carbono entre la biosfera, la atmósfera y los océanos, así como, en escalas de tiempo muy largas, la litosfera (por ejemplo rocas, reservas de petróleo, carbón, rocas carbonadas). Las tasas de esos intercambios ahora son totalmente superadas por la tasa en la que estamos extrayendo carbono del último conjunto de reservas y convirtiéndolo en CO<sub>2</sub> atmosférico. Ningún descubrimiento hecho en las muestras de hielo cambiará estos hechos básicos.

En segundo lugar, la idea de que podría haber un intervalo entre las concentraciones de CO<sub>2</sub> tras el cambio de la temperatura (durante los cambios climáticos glacial-interglacial) no tiene nada de nueva para la comunidad científica del clima. Claude Lorius, Jim Hansen y otros ya descubrieron esto hace 17 años, en un artículo histórico que trataba la causa del cambio de temperatura observado en

los registros de las muestras de hielo antárticas, mucho antes de que los datos mostraran que el CO<sub>2</sub> podría rezagarse con respecto a la temperatura. En ese artículo ([Lorius et al., 1990](#)) (2), dicen que:

los cambios en el contenido de CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub> han jugado un papel significativo en los cambios de clima glacial-interglacial al amplificar, junto con el crecimiento y disminución de las capas de hielo del hemisferio septentrional, el fortalecimiento orbital relativamente débil

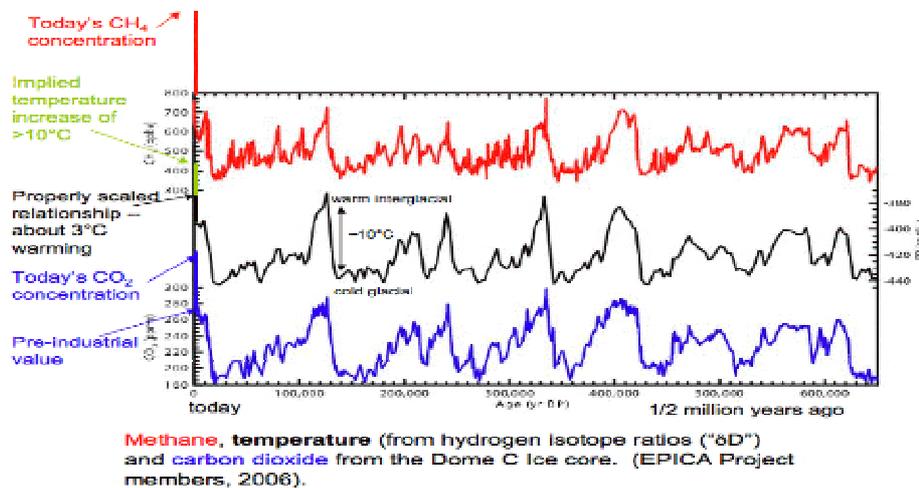
De lo que estamos hablando aquí es de la influencia del cambio de la fuerza radiativa estacional desde el movimiento de la tierra alrededor del sol (la bien establecida teoría de Milankovitch sobre la eras glaciales), combinada con la retroalimentación positiva del albedo de la capa de hielo (menos hielo = menos reflexión de la luz solar = temperaturas más calientes) y de las concentraciones de gases de efecto invernadero (las temperaturas superiores llevan a más CO<sub>2</sub> que provoca temperaturas más calientes). Por tanto, el CO<sub>2</sub> y el volumen del hielo deberían calorifugar\* algo la temperatura, dependiendo de los tiempos de respuesta característicos de estos componentes diferentes del sistema climático. El volumen del hielo debería calorifugar la temperatura aproximadamente 10.000 años, por el período de tiempo relativamente largo requerido para que las placas de hielo crezcan o disminuyan. Puede esperarse que el CO<sub>2</sub> calorifugue la temperatura en unos 1.000 años, que es la escala de tiempo que esperamos de los cambios en la circulación oceánica y de la fuerza del "bombeo de carbono" (es decir, la fotosíntesis biológica marina) que transfiere el carbono desde la atmósfera a las profundidades oceánicas.

Algunos artículos recientes han establecido que hay un retraso del CO<sub>2</sub> detrás de la temperatura. No conocemos realmente la magnitud de ese retraso tan bien como insinúa Barton, porque es un gran reto poner los registros de CO<sub>2</sub> procedentes de las muestras de hielo en la misma escala de tiempo que los registros de temperatura de esas mismas muestras de hielo, por el retraso temporal en atrapar la atmósfera cuando la nieve se comprime para convertirse en hielo (el hielo de cualquier tiempo será siempre *más antiguo* que las burbujas de gas que encierra, y la diferencia de edad es en esencia insegura). Sin embargo, los mejores cálculos publicados muestran valores similares a los citados por Barton (posiblemente, sacados de [este](#) (3) artículo de Monnin et al. (2001), o de [este](#) (4) de Caillon et al. (2003)). Pero los cálculos solo se pueden hacer bien cuando el cambio de temperatura es grande, especialmente en las terminaciones glaciales (el cambio gradual desde el clima glacial frío al clima interglacial templado). Es importante que se tarde más de 5.000 años para que se produzca este cambio, en el que la calorifugación es solo una fracción pequeña (un artículo [recientemente enviado](#) (5) que conozco sugiere que la calorifugación es inferior a 200 años). Por tanto, no es que los incrementos de temperatura ya hayan terminado cuando el CO<sub>2</sub> empieza a crecer. Más bien están muy relacionados, pues la temperatura sigue subiendo conforme sube el CO<sub>2</sub>. Dicho de otro modo, el CO<sub>2</sub> actúa como un amplificador, tal como sugirieron Lorius, Hansen y sus colegas.

Ahora bien, *hay* una crítica menor que se podría plantear a Gore en su tratamiento de este tema en la película (tal como previamente [señalamos](#) (6) en nuestra crítica). Pero su corrección fortalecería realmente la posición de Gore, en lugar de debilitarla. Esta es la razón:

El registro de temperaturas de las muestras de hielo no es un registro global, sino un registro local del cambio antártico de la temperatura. El resto del mundo, ciertamente, sigue en paralelo y muy de cerca los cambios polares, pero los cambios de temperatura globales medios son más pequeños. Aunque no sabemos

con precisión porqué se producen los cambios de CO<sub>2</sub> en las escalas de tiempo largas, (aunque los mecanismos se entienden perfectamente, no pasa lo mismo con los detalles), sabemos que la explicación de la magnitud de la temperatura global requiere la inclusión del CO<sub>2</sub>. Este punto es decisivo. *No podemos explicar las observaciones de la temperatura sin el CO<sub>2</sub>*. Pero el CO<sub>2</sub> no explica todo el cambio y la relación entre temperatura y CO<sub>2</sub> no es en absoluto lineal. Es decir, una cantidad dada del incremento del CO<sub>2</sub> medido en las muestras de hielo no se corresponde necesariamente con una determinada parte del incremento de la temperatura. Gore muestra la potente relación paralela entre los datos de temperatura y del CO<sub>2</sub> a partir de las muestras de hielo y, después, ilustra dónde está ahora el CO<sub>2</sub> ([384 ppm](#)) (7), dejando que la mirada del que ve el ejemplo extrapole la curva ascendente de la temperatura en paralelo con el crecimiento del CO<sub>2</sub>. Gore no comete el error real de dibujar la curva de la temperatura, pero las implicaciones son evidentes: las temperaturas van a subir mucho. Pero, tal como se ilustra en la figura inferior, la simple extrapolación de esta correlación hacia el futuro coloca la temperatura antártica en el futuro cercano aproximadamente 10 grados Celsius más caliente de donde está ahora; en lugar de en el extremo de la gran mayoría de las proyecciones (tal como hemos discutido [aquí](#)) (8).



La temperatura global media es inferior durante los períodos glaciales principalmente por dos razones:

- 1) Sólo había aproximadamente 190 ppm de CO<sub>2</sub> en la atmósfera y también eran bajas las cantidades de otros importantes gases de efecto invernadero (CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O)
- 2) La superficie de la tierra era más reflectante, por la presencia de mucho hielo y nieve en el suelo, y mucho más hielo en el mar que hoy (es decir, el albedo era superior).

Como analizaba muy bien Jim Hansen en su reciente artículo en *Scientific American*, la segunda de estas dos influencias era la más grande, pues explicaba aproximadamente 2/3 de la fuerza radiativa total. El CO<sub>2</sub> y otros gases de efecto invernadero explicaban el otro tercio. También esto se sabía ya perfectamente en 1990, en la época del artículo de Lorius et al. citado anteriormente.

Lo que Gore debería haber hecho es extrapolar la curva de temperatura de acuerdo con esta escala apropiada —con el CO<sub>2</sub> explicando aproximadamente 1/3 del cambio total—, en lugar de dejar que el público lo hiciera con su mirada. De haberlo hecho así, habría dibujado una línea que solo asciende 1/3 de la distancia implicada por la correlación simple con el CO<sub>2</sub> de los registros de las muestras de hielo. Esto

habría dejado la impresión de que el equilibrio de calentamiento de la Antártida debido al doble de concentraciones de CO<sub>2</sub> sería de aproximadamente 3 °C, lo que está muy de acuerdo con [lo que predicen los modelos climáticos más avanzados](#) (9). (Hay que observar que los mismos modelos predicen un retraso significativo hasta que se alcanza el equilibrio, debido a la gran capacidad de calor del océano meridional. Esto está muy de acuerdo con los datos, que muestran [un calentamiento muy modesto en la Antártida en los últimos 100 años](#)) (10). Después, si escala el cambio de temperatura antártico a un cambio de temperatura global, la sensibilidad de un clima global a un volumen doble de CO<sub>2</sub> se convierte en 2-3 grados °C, lo que está perfectamente en línea con la sensibilidad del clima dada por el IPCC (y conocida por los cálculos de Arrhenius de hace más de cien años).

En resumen, los datos de las muestras de hielo en modo alguno contradicen nuestra comprensión de la relación entre CO<sub>2</sub> y temperatura, por lo que no hay nada fundamentalmente erróneo en lo que dice Gore en la película. Ciertamente, Gore podría haber usado los datos de las muestras de hielo para una cuestión adicional y potente, que es que dichos datos proporcionan una buena prueba independiente de la sensibilidad del clima, lo que da un resultado que concuerda perfectamente con los resultados de otros modelos.

Una cuestión final. En la crítica que hace Barton de Gore también señala que el CO<sub>2</sub> ha sido muy superior a veces al de hoy. Es cierto. El CO<sub>2</sub> puede haber alcanzado 1.000 partes por millón (ppm) —quizás mucho más— en épocas del distante pasado geológico (por ejemplo en el Eoceno, hace unos 55 millones de años). Lo que Barton no se molesta en mencionar es que en esos períodos la tierra estaba *mucho* más caliente. En cualquier caso, lo más relevante es que el CO<sub>2</sub> no había superado los 290 ppm en los últimos 650.000 años (por lo menos), hasta su incremento más reciente, que [se debe inequívocamente a las actividades humanas](#) (11).

### Eric Steig

Eric Steig es un geoquímico especializado en isótopos de la University of Washington en Seattle. Su principal interés en la investigación es el uso de los datos de las muestras de hielo para documentar la variabilidad del clima en el pasado. También trabaja en la historia geológica de las capas de hielo, en la dinámica de las capas de hielo, en los análisis estadísticos del clima y en la química atmosférica.



Recibió el BA del Hampshire College de Amherst, MA, y el M.S. y PhDs en Ciencias Geológicas por la University of Washington, siendo profesor numerario de DOE Global Change Graduat. Estuvo en la facultad de investigación de la University of Colorado y enseñó en la de Pennsylvania antes de volver a la de Washington en 2001. Ha trabajado en los comités de vigilancia nacionales del Ice Core Working Group, la iniciativa Paleoenvironmental Arctic Sciences y la West Antarctic Ice Sheet Initiative, patrocinadas todas ellas por la US National Science Foundation. Es editor de la publicación [Quaternary Research](#) (12). Ha publicado más de 60 artículos en publicaciones internacionales con sistema peer-review.

Traducido por Víctor García para Globalízate

\* calorifugar: Retrasar la inercia térmica de un sistema, en este caso, la atmósfera.

Artículo original

<http://www.realclimate.org/index.php/archives/2007/04/the-lag-between-temp-and-co2/>

Referencias:

- (1) <http://www.realclimate.org/index.php/archives/2004/12/co2-in-ice-cores>
- (2) [http://www.atmos.washington.edu/2003Q4/211/articles\\_required/Lorius\\_90\\_ice-core.pdf](http://www.atmos.washington.edu/2003Q4/211/articles_required/Lorius_90_ice-core.pdf)
- (3) <http://www.sciencemag.org/cgi/content/abstract/291/5501/112>
- (4) <http://www.sciencemag.org/cgi/content/abstract/299/5613/1728>
- (5) <http://www.cosis.net/members/journals/df/article.php?paper=cpd-3-435>
- (6) <http://www.realclimate.org/index.php?p=299>
- (7) [http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/co2\\_trend\\_mlo.png](http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/co2_trend_mlo.png)
- (8) <http://www.realclimate.org/index.php/archives/2006/03/climate-sensitivity-plus-a-change>
- (9) <http://www.agu.org/pubs/crossref/2004.../2004GL020724.shtml>
- (10) <http://www.agu.org/journals/scripts/highlight.php?pid=2006GL027057>
- (11) <http://www.realclimate.org/index.php?p=87>
- (12) <http://depts.washington.edu/qrc/index.html>