

ROMPIENDO LA BARRERA DE LAS 400 PPM: IMPLICACIONES FÍSICAS Y SOCIALES DEL RECIENTE AUMENTO DE CO₂

Sérgio H. Faria, Joseph V. Spadaro y Anil Markandya

Los últimos meses han sido especialmente fascinantes para los investigadores del clima: tras cerca de seis años de trabajo, el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático de las Naciones Unidas (IPCC, por sus siglas en inglés) ha publicado su quinto Informe de Evaluación (AR5) sobre el cambio climático desde 1990. Compuesto formalmente por tres partes más el Informe de Síntesis final, la primera parte del AR5 se publicó de modo preliminar el 30 de septiembre de 2013 con el título *Grupo de Trabajo 1 (WG1); Base de las Ciencias Físicas*. Las otras dos partes (WG2 sobre impactos, adaptación y vulnerabilidad, y WG3 sobre mitigación) están previstas para la primavera de 2014, mientras que el Informe de Síntesis del AR5 se publicará en otoño de 2014.

El objetivo de los Informes de Evaluación del IPCC no ha sido publicar descubrimientos novedosos, sino más bien consolidar aquellos resultados científicos bien fundamentados y ampliamente aceptados por la comunidad de investigadores del clima* en los últimos años. Así, los Informes del IPCC han sido respaldados por numerosas academias científicas del mundo, y se han convertido en una importante referencia de la visión actual de la comunidad de investigadores del clima en su conjunto.

Uno de los resultados clave del nuevo WG1-AR5 es el altísimo grado de confianza que se le ha atribuido a la conclusión de que *la influencia humana ha sido, efectivamente, la principal causa del cambio climático moderno* (desde la década de los 50). La expresión "extremadamente probable" que se utiliza en este contexto (certitud del 95-100 %, que es el mayor grado de certitud del IPCC tras el "virtualmente cierto", que apenas se utiliza) implica que no hay duda alguna de la significativa influencia humana. Esta conclusión está respaldada por prácticamente todos los *investigadores del clima serios e imparciales*.

Otro de los resultados importantes del WG1-AR5 está relacionado con las principales causas de la influencia humana en el sistema climático de la Tierra. Como en los anteriores informes de evaluación, el incremento de la concentración atmosférica del dióxido de carbono (CO₂), generado principalmente por las emisiones antropogénicas, ha sido identificado como el principal agente del aumento de la temperatura media de la superficie global (denominado "calentamiento global"). En el nuevo WG1-AR5, esta conclusión queda corroborada con los datos actualizados, un mejor entendimiento de los procesos físicos, simulaciones numéricas más completas y un indicador más realista de la respuesta final de la temperatura

Factores clave

- *La concentración del dióxido de carbono (CO₂) en la atmósfera ha alcanzado sus niveles más elevados en los últimos 800.000 años, y probablemente incluso en los últimos 2,1 millones de años. Recientemente, ha superado ligeramente el objetivo de 400 ppm de concentración atmosférica. Si bien esta marca no deja el clima de la Tierra en estado apocalíptico, sí representa un grave riesgo sociopolítico global, ya que pone de manifiesto la inacción y la indiferencia de los gobiernos y de la sociedad con respecto a los cambios climáticos de los que somos responsables y a sus consecuencias, especialmente para los pobres y los vulnerables.*
- *Desde la era preindustrial (es decir, desde 1750), las concentraciones atmosféricas de CO₂ han aumentado más del 40 %, en primer lugar por las emisiones de los combustibles fósiles, y en segundo lugar por las emisiones netas generadas por el cambio en el uso de la tierra. Este aumento se ha producido a un ritmo que no tiene precedentes en los últimos 22.000 años, y, en la última década, ha alcanzado una media de 2 ppm/año. Cerca del 30 % del CO₂ antropogénico emitido ha sido absorbido por el océano, lo cual ha causado la acidificación oceánica, que pone en grave riesgo los ecosistemas, los recursos y los servicios marinos.*
- *Los registros paleoclimáticos de los testigos de hielo nos enseñan que, en condiciones normales, la temperatura de la superficie mundial nunca varía mucho a largo plazo (en siglos) sin el correspondiente cambio en la concentración atmosférica del CO₂, y viceversa. Para explicar el nivel de calentamiento observado en los registros de temperatura, se debe tener en cuenta el efecto invernadero causado por las correspondientes concentraciones atmosféricas de CO₂ de ese período. Sin embargo, esto no excluye que ocurra una variabilidad climática a corto plazo (en décadas), lo que puede acentuar o contrarrestar la tendencia predominante de la temperatura (por ejemplo, la interrupción actual de 15 años en el aumento de la temperatura global).*
- *En un escenario de continuidad, las concentraciones atmosféricas de CO₂ alcanzarían más de 500 ppm para mediados del siglo XXI, un cambio del 25 % por encima del valor presente, lo que probablemente supondría un incremento de más de 2 °C en la temperatura media de la superficie de la Tierra. Por otra parte, si se empezara a reducir las emisiones un 2 % al año antes de 2020, se limitaría la concentración mundial de dióxido de carbono por debajo de 450 ppm. El retraso en las reducciones de las emisiones agravaría los riesgos de los peligrosos y potencialmente irreversibles cambios climáticos, y aumentaría los costes de las futuras medidas de mitigación y adaptación.*

* Aquí utilizamos el término "investigador del clima" en un sentido amplio, incluyendo no solo a los climatólogos, sino también las especialidades relacionadas, que abarcan desde geociencias y modelaje matemático hasta ecología y economía ambiental.

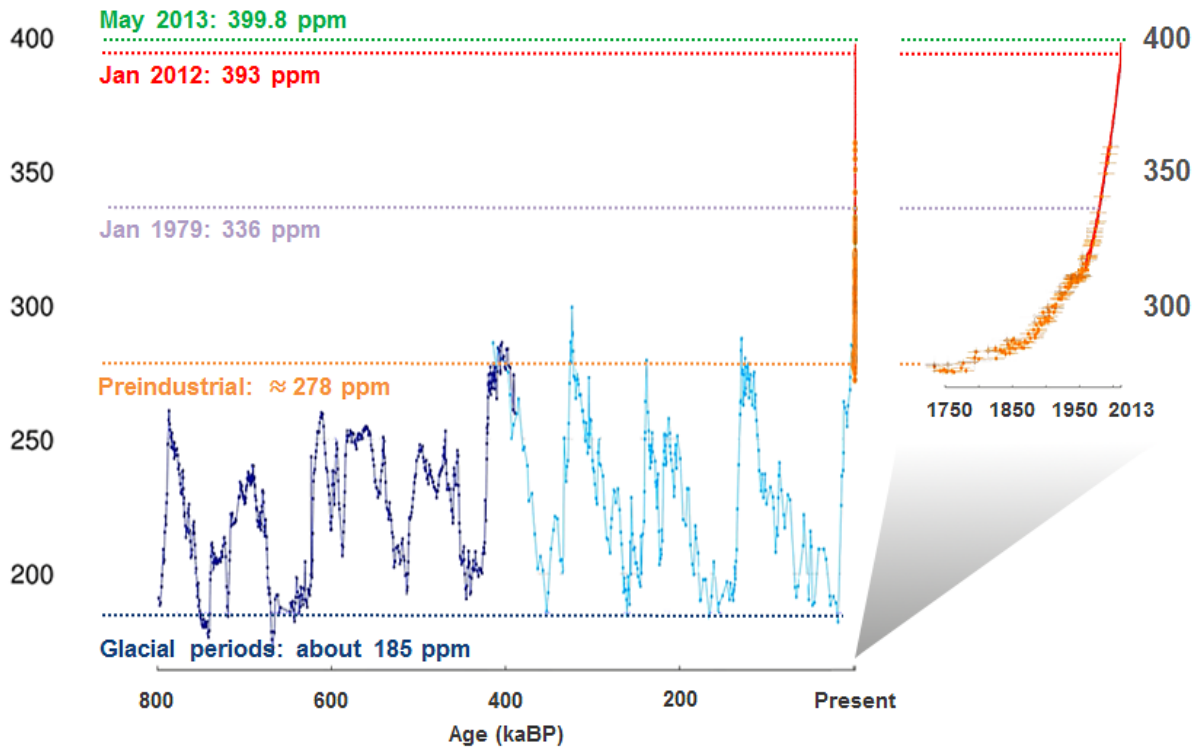


Figura 1: Registro histórico de concentraciones atmosféricas de CO₂ desde hace unos 800.000 años. Eje vertical: concentración atmosférica de CO₂ en partes por millón (ppm). Eje horizontal: edad del registro en miles de años antes del presente (kaBP). Rojo: datos de Mauna Loa, Hawai (desde 1958 hasta el presente). Naranja: Testigo de hielo de Law Dome, Antártida (últimos 1.000 años; también se han incluido algunos puntos de datos del testigo de hielo de Siple Dome, Antártida). Azul claro: Testigo de hielo de Vostok, Antártida (últimos 420.000 años). Azul oscuro: Testigo de hielo de EPICA Dome C, Antártida (últimos 800.000 años). A la izquierda se indican los hitos históricos en la concentración atmosférica del CO₂, de los que se ha obtenido una media de determinados períodos. Las concentraciones muy bajas de CO₂ coinciden con períodos glaciales (coloquialmente denominados “eras de hielo”), que ocurren con una frecuencia de 100.000 años aproximadamente (de acuerdo con el ciclo orbital de 100 ka de Milankovitch; por tanto, se pueden identificar ocho períodos glaciales en todo el registro de 800 ka). La media mensual más alta de la concentración de CO₂ registrada en la historia de la humanidad está marcada en verde. El recuento que se encuentra arriba a la derecha muestra una magnificación del mismo registro para la actual era industrial. Todos estos datos están disponibles en la página web de NOAA Mauna Loa: <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/mlo.html>. Esta ilustración es una adaptación de una animación muy instructiva y recomendable de 3:36 minutos que está disponible en la página web de NOAA: <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/history.html>.

media global, denominada “forzante radiativo efectivo” (ERF, por sus siglas en inglés). Se indica que la concentración atmosférica del CO₂ ha aumentado hasta niveles nunca vistos en los últimos 800.000 años (Fig. 1), incluso probablemente en los últimos 2,1 millones de años[¶].

Las concentraciones atmosféricas de CO₂ han aumentado más del 40 % desde la era preindustrial (desde 278 ppm[§] en 1750 hasta un valor medio global de 394 ppm en 2012), en primer lugar por las emisiones de los combustibles fósiles, que representan dos tercios de los 545 GtC de emisiones acumuladas liberadas a la atmósfera, y en segundo lugar por el cambio en el uso de la tierra, debido sobre todo a la deforestación[†]. En 2010, las emisiones de los combustibles fósiles fueron diez veces superiores a los cambios en el uso de la tierra[‡]. La mayoría de las emisiones históricas permanecen en la atmósfera (alrededor del 44 %, o 240 GtC), mientras que los ecosistemas terrestres naturales han acumulado 150 GtC. Los océanos han absorbido cerca del 30 % del CO₂ antropogénico emitido, lo cual ha tenido graves consecuencias para los ecosistemas marinos a causa de la consiguiente acidificación de la superficie del mar (cf. Manifiesto del Panel Interacadémico sobre la acidificación oceánica, 2009).

Los cálculos sobre las concentraciones atmosféricas y oceánicas futuras de CO₂ indican que para 2100 el pH medio de la superficie oceánica puede ser menor de lo que ha sido durante más de 50 millones de años (WG1-AR5). La reducción del pH del agua marina hace que los océanos se vuelvan cada vez más corrosivos para diferentes formas del carbonato de calcio (CaCO₃), como la calcita o el aragonito, que son vitales para numerosos organismos calcificadores marinos que protegen las costas, ofrecen hábitat para la vida marina y son la base de las redes alimentarias. En consecuencia, la acidificación oceánica constituye un grave riesgo para los recursos marinos y servicios del ecosistema, que abarcan desde el sector pesquero hasta la infraestructura costera y el turismo. Por ejemplo, los arrecifes de coral son muy vulnerables a los cambios de pH y a las crecientes

[¶] Tras el CO₂, los gases de efecto invernadero bien mezclados (WMGHG, por sus siglas en inglés) identificados por el AR5 como los mayores contribuidores del forzante radiativo son el metano (CH₄) y el óxido nitroso (N₂O). Sus concentraciones atmosféricas también han alcanzado niveles sin precedentes en los últimos 800.000 años, según los registros de los testigos de hielo. Gracias a la eliminación gradual de las emisiones de hidrocarburos en virtud del Protocolo de Montreal, el N₂O ha sustituido ahora al CFC-12 como el tercer WMGHG que más contribuye al forzante radiativo.

[§] La unidad de concentración “ppm” (= μmol/mol) significa partes por millón, que en este contexto se traduce en 278 moléculas de CO₂ por 1 millón de moléculas de aire seco. Una ppm de CO₂ equivale a 2,12 GtC o a 7,77 GtCO₂.

[†] Desde 1750 hasta 2011, la concentración del metano (CH₄) en el aire se ha multiplicado por 2,5 hasta 1,80 ppm, mientras que la concentración del óxido nitroso (N₂O) ha aumentado un 20 % hasta 0,32 ppm en el mismo período. Las emisiones antropogénicas y los cambios en el ciclo del nitrógeno han contribuido a la acumulación de estas especies distintas al CO₂ en la atmósfera. Al contrario que el CO₂, la vida atmosférica de estos contaminantes es mucho más corta: 12 años en el caso del CH₄, y 120 años en el caso del N₂O. En cambio, las emisiones del dióxido de carbono pueden permanecer en la atmósfera durante muchos siglos.

[‡] Los cálculos del carbono de deforestación son mucho más inciertos que las emisiones de los combustibles fósiles, pero pueden compensarse potencialmente en una escala de tiempo de un siglo por medio de una regeneración forestal y una mejor gestión de las prácticas agrícolas y forestales.

temperaturas del océano, lo que, según los cálculos, genera pérdidas anuales del 1-2 % de los corales de arrecife. Dicha pérdida afecta negativamente a la diversidad marina, provoca un descenso en la actividad económica y aumenta la vulnerabilidad de infraestructuras hechas por el hombre, del paisaje natural y de la salud de los habitantes de la costa ante el constante aumento del nivel del mar y los fenómenos extremos derivados, como marejadas ciclónicas⁸. Estudios recientes señalan también que la acidificación oceánica puede influir positivamente en el calentamiento global, ya que reduce los compuestos formadores de nubes emitidos por el fitoplancton⁹.

Las altas concentraciones de CO₂ que ya están presentes en la atmósfera y sus impactos climatológicos asociados permanecerán durante muchos siglos, incluso si las emisiones antropogénicas cesaran por completo. Así lo demuestran las recientes pruebas paleoclimáticas, que apuntan a unos períodos de tiempo muy largos para que la naturaleza se recupere de los altos pulsos de emisiones de CO₂. Todos los factores aquí citados representan, según el WG1-AR5, “una responsabilidad plurisecular significativa en el cambio climático debido a las emisiones de CO₂ del pasado, del presente y del futuro”.

¿Es el CO₂ realmente el “mando de control” del calentamiento global?

Las emisiones antropogénicas de los gases de efecto invernadero, especialmente el CO₂, han contribuido a aumentar la temperatura de la superficie de la Tierra probablemente entre 0,5 °C y 1,3 °C (probabilidad del 66 % al 100 %, según el WG1-AR5). Es probable que otros forzantes causados por el hombre y relacionados con los cambios en la concentración ambiental de aerosoles, del ozono troposférico y del carbono negro que altera el albedo hayan contribuido con entre -0,6 °C y 0,1 °C. Los forzantes naturales del clima generados por cambios a escala decenal en la radiación solar total y los derivados de los enfriamientos como consecuencia de las erupciones volcánicas han contribuido probablemente a aumentar la temperatura entre -0,1 °C y 0,1 °C. La combinación de estos efectos ha supuesto un incremento en la temperatura media de la superficie mundial congruente con las observaciones de un calentamiento de +0,6 °C. El informe WG1-AR5 concluye que “...es muy probable (certidud de más del 90 %) que más de la mitad del incremento observado en la temperatura media de la superficie mundial entre 1951 y 2010 se deba al incremento antropogénico observado en las concentraciones de gases de efecto invernadero”.

En su conferencia Bjerknes en el congreso de la Unión Americana de Geofísica del 2009, el geólogo Richard Alley, uno de los autores principales del AR4 del IPCC, repasó las pruebas geológicas de la influencia del dióxido de carbono en la historia climatológica de la Tierra¹⁰. Llegó a la conclusión de que si una mayor concentración atmosférica del CO₂ causa el calentamiento de la temperatura media mundial, la historia climatológica de la Tierra tiene sentido —sobre todo numerosos fenómenos particulares de calentamiento, como la Extinción Masiva del Final del Pérmico, el Calentamiento del Cretácico Medio, el Máximo Térmico del Paleoceno-Eoceno, y muchos otros—, ya que el CO₂ *causó o amplificó* el calentamiento observado con una sensibilidad climatológica comparable a los valores adoptados en los modelos modernos (un calentamiento aproximado de 3 °C debido a la duplicación de la concentración de CO₂). Por otra parte, “si un aumento del CO₂ no provoca calentamiento”, afirma Alley, “tenemos que explicar por qué están tan equivocados los radiofísicos, y cómo han sucedido tantos fenómenos climatológicos realmente inexplicables a lo largo de la historia de la Tierra”.

Hay que recalcar que no *todos* los fenómenos de calentamiento están *provocados* por mayores concentraciones atmosféricas de CO₂. Los ejemplos más claros son los finales de los períodos glaciales (coloquialmente denominados “eras de hielo” en la cultura popular), que se iniciaron por las variaciones orbitales o ciclos de Milankovitch (véase Fig. 2). Sin embargo, cuando el dióxido de carbono no provoca el calentamiento, lo sigue y lo amplifica mediante un efecto de retroalimentación. Esto significa que ha habido fenómenos en la historia climatológica de la Tierra en los que los cambios de temperatura siguieron con retraso a los del CO₂, mientras que con otros fenómenos sucedió lo contrario (Fig. 3).

En consecuencia, ocasionalmente pueden ocurrir divergencias transitorias entre las respuestas de la temperatura y del dióxido de carbono. Por ejemplo, estudios paleoclimáticos recientes de alta resolución demuestran (véanse el WG1-AR5 y las referencias que contiene) que cuando el aumento de la concentración atmosférica del CO₂ precede a la respuesta de la temperatura media de la superficie mundial, puede seguir habiendo períodos breves (aproximadamente de una década) en los que el aumento de la temperatura mundial se estabiliza. Un ejemplo de ello es la moderación de los últimos 15 años en el aumento de la temperatura mundial: desde 1998 ha aumentado 0,05 °C por década, en contra de la tendencia prolongada de

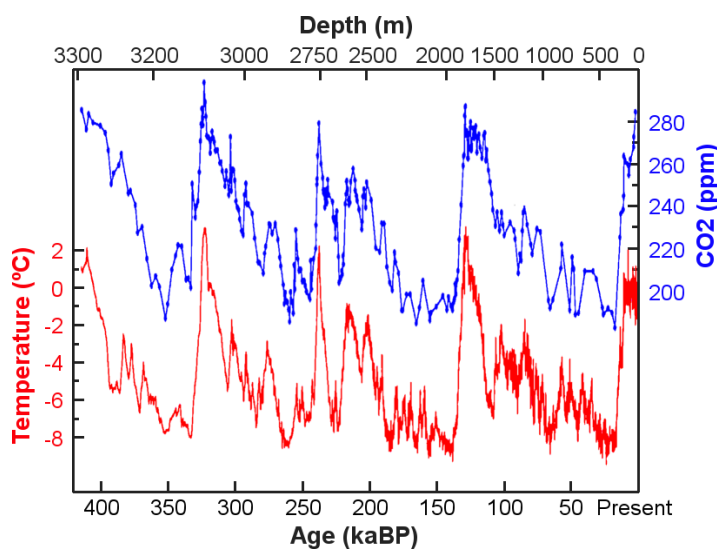


Figura 2: Registro del testigo de hielo profundo de Vostok (Antártida) de concentraciones atmosféricas de CO₂ y temperatura de la Antártida hace aproximadamente 420.000 años¹¹. Eje vertical izquierdo (curva roja): variación de la temperatura de la superficie con respecto al valor presente. Eje vertical derecho (curva azul): concentración atmosférica de CO₂ en partes por millón (ppm). Eje horizontal inferior: edad del registro en miles de años antes del presente (kaBP). Eje horizontal superior: profundidad desde la que se extrajo la respectiva muestra de hielo (la capa de hielo en Vostok tiene más de 3,7 km de espesor). Se pueden reconocer claramente cuatro períodos glaciales, caracterizados por un enfriamiento inicial lento y un calentamiento rápido en sus finales. Es notable la correlación de las temperaturas y de las concentraciones de CO₂.

⁸ Cerca del 23 % de la población mundial vive como máximo a 100 km de la costa y a menos de 100 m por encima del nivel del mar. En la mayoría de los casos habituales, si el nivel del mar subiera un metro podría causar que la orilla horizontal regulara entre decenas y cientos de metros, o incluso unos kilómetros, dependiendo de la topografía de la costa. En este sentido, el aumento global del nivel del mar ya está incrementando la vulnerabilidad humana a los fenómenos costeros extremos acentuando la severidad de las potenciales inundaciones, independientemente del impacto del cambio climático en la frecuencia e intensidad de tales fenómenos extremos.

⁹ Barford, E. (2013) "Rising ocean acidity will exacerbate global warming." *Nature News*, 25 de agosto de 2013. <http://dx.doi.org/10.1038/nature.2013.13602>

¹⁰ Alley, R.B. (2009) "The Biggest Control Knob." http://www.agu.org/meetings/fm09/lectures/lecture_videos/A23A.shtml

¹¹ Según Petit et al. (1999) "Climate and atmospheric history of the past 420,000 years from the Vostok ice core, Antarctica." *Nature* **399**, 429–436.

0,12 °C por década desde 1951. Esta reciente interrupción del calentamiento es una manifestación particular de la variabilidad climática de corto plazo combinada con cambios en el forzante radiativo efectivo, lo que puede acentuar o contrarrestar la tendencia predominante de la temperatura. Según el WG1-AR5, un descenso en el forzante natural que puede ser atribuido a la reducción de la irradiancia solar y a la mayor cantidad de aerosol estratosférico que se está cargando desde el año 2000 por una mayor actividad volcánica explicaría aproximadamente la mitad del descenso observado en el aumento de la temperatura durante el período 1998-2011 con respecto a 1951-2011. La absorción del calor por parte de los océanos también ha contribuido a frenar el cambio de temperatura. En cualquier caso, para predecir futuros climas importa más la tendencia a largo plazo que la variabilidad en el corto plazo. En este sentido, las simulaciones actuales de creación de modelos de clima son congruentes con las observaciones históricas del clima. De hecho, a pesar de la “estabilización” en la tendencia de la temperatura mundial, la década del 2000 ha sido la más cálida en la historia de los registros instrumentales, y el 2013 va camino de figurar entre los diez años más cálidos jamás registrados^{§§}.

La lección que se puede aprender aquí es que, en condiciones normales, la temperatura de la superficie mundial nunca varía demasiado sin su correspondiente variación en la concentración atmosférica del CO₂, y *viceversa*. Los registros paleoclimáticos de los testigos de hielo son inequívocos en este sentido, puesto que muestran una notable correlación entre el CO₂ y la temperatura en la escala milenaria, que no es solo cualitativa, sino también cuantitativa (Fig. 2). Esto significa que, para explicar el nivel de calentamiento observado en los registros de temperatura, se *debe* tener en cuenta el efecto invernadero de las correspondientes concentraciones de CO₂ registradas en ese período concreto. Por tanto, la cuestión de si el dióxido de carbono ha sido históricamente una causa desencadenante o una retroalimentación del cambio climático es esencialmente irrelevante, en tanto que se entienda que unas mayores concentraciones de CO₂ *sí calientan* la atmósfera de la Tierra.

Alley, con su *analogía del exceso de gasto*, ilustra esta conclusión de manera ejemplar: la deuda conlleva intereses, que, con el tiempo, aumentan la deuda original (si no se paga). Así, el interés retrasa la deuda, pero no se puede explicar la cantidad total de la deuda sin tener en cuenta los intereses. Del mismo modo, un aumento en la temperatura mundial puede preceder, en ocasiones, al incremento en la concentración atmosférica de CO₂. En tal caso, el aumento de CO₂ retrasa el calentamiento, pero no se puede explicar el nivel total de calentamiento sin tener en cuenta el efecto de unas mayores concentraciones de CO₂ en la atmósfera (Fig. 3).

La ventaja de los registros climáticos de los testigos de hielo es que proporcionan acceso *directo* a concentraciones de dióxido de carbono del pasado mediante muestras de la antigua atmósfera conservada en burbujas de aire dentro del hielo (Fig. 4). En comparación con otros archivos paleoclimáticos, los registros de CO₂ de los testigos de hielo son los más precisos y fiables, especialmente aquellos que se han extraído de lugares remotos de Groenlandia y Antártida, donde las influencias regionales (la vegetación, etc.) son insignificantes y se puede perforar el hielo hasta profundidades de varios kilómetros, que corresponden a cientos de miles de años atrás. Basándonos en los testigos de hielo, hasta ahora hemos podido reconstruir la historia de la concentración de CO₂ de la Tierra que se remonta 800.000 años en el tiempo

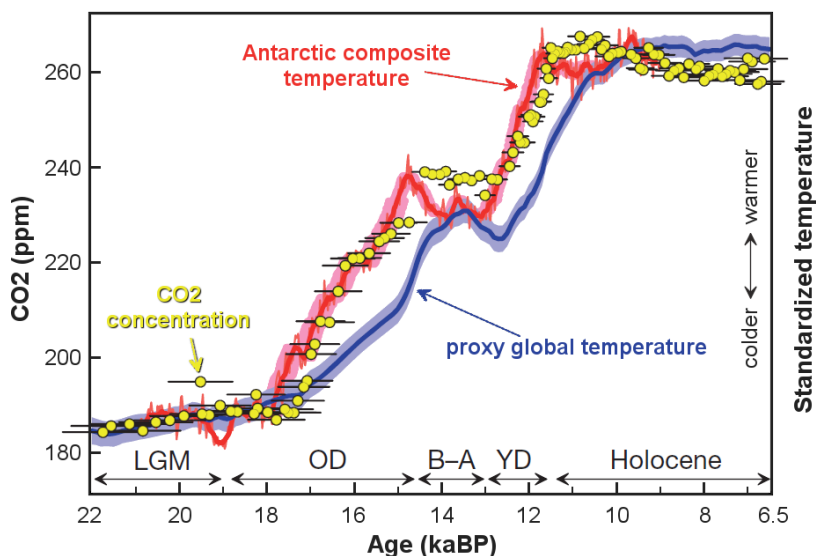


Figura 3: Variaciones en la concentración atmosférica de CO₂, temperatura de la Antártida y temperatura global en la última recesión glacial^{††} (22.000-6.500 años antes del presente). Se han estandarizado los datos de la temperatura proxy global (azul) y la composición de registros de la temperatura antártica provenientes de testigos de hielo (rojo) para que se puedan comparar fácilmente con la concentración atmosférica del CO₂ (puntos amarillos). Se indican el Holoceno, el Dryas Reciente (DR), Bolling-Allerød (B-A), el Dryas Más Antiguo (DMA) y los intervalos del Último Máximo Glacial (UMG). Advértase de que los cambios en la concentración del CO₂ son simultáneos con o provocan el calentamiento global. Una excepción importante es el comienzo de la recesión glacial, que presenta un calentamiento global de aproximadamente 0,3 °C antes del comienzo del aumento de CO₂, alrededor de hace 17,5 kaBP. Esto implica que el CO₂ no provocó el calentamiento *inicial*, pero fue un causante decisivo del calentamiento global *durante* la recesión glacial. El retraso de la escala centenaria que lleva la temperatura global con respecto al CO₂ es congruente con la inercia térmica del sistema climático, debido sobre todo a la absorción del calor por parte de los océanos y al deshielo. En cambio, el retraso del CO₂ y de la temperatura global con respecto a la temperatura de la Antártida se debe a una respuesta de la temperatura en oposición de fase a los cambios de circulación del océano en los hemisferios norte y sur (denominado “desfase bipolar”), lo cual pone de manifiesto la importancia de distinguir los cambios climáticos globales de sus diversas manifestaciones regionales.

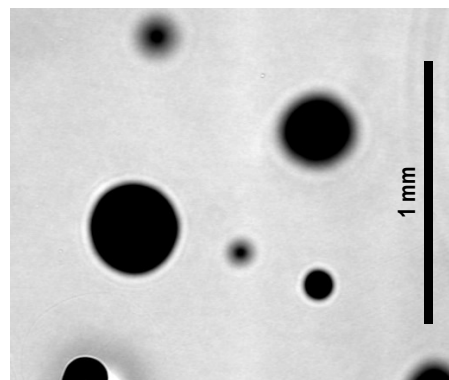


Figura 4: Micrografía de burbujas de aire (oscuro) en una muestra de un testigo de hielo de 6 mm de grosor de la Antártida de una profundidad de 556 m (testigo de EPICA DML). La edad del aire que está dentro de las burbujas es de 8.900 años aproximadamente.

§§ Declaración provisional de la Organización Meteorológica Mundial (OMM), realizada el 13 de noviembre de 2013 durante la Conferencia sobre el Cambio Climático de las Naciones Unidas (ONU) en Varsovia del 11 al 23 de noviembre de 2013.

†† Según Shakun et al. (2012) “Global warming preceded by increasing carbon dioxide concentrations during the last deglaciation.” *Nature* **484**, 49–54.

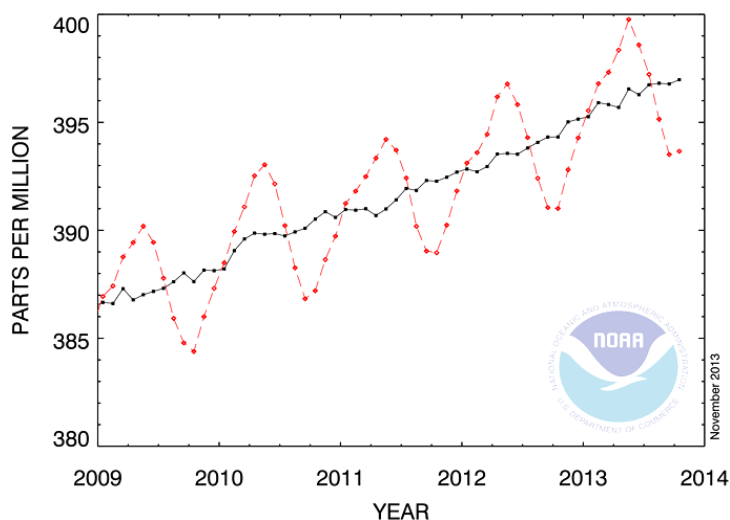


Figura 5: Registro reciente de la media mensual de CO₂ en el Observatorio de Mauna Loa, Hawaii. La línea roja resaltada con símbolos de diamantes representa los valores medios mensuales, centrados en la mitad de cada mes. La línea negra con símbolos cuadrados representa lo mismo, tras la corrección del ciclo estacional medio. El último año de los datos todavía es provisional, pendiente de las nuevas calibraciones de los gases de referencia y otros controles de calidad. Este y otros registros, que se actualizan regularmente, están libremente disponibles en el sitio web de NOAA: <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/>

(Fig. 1), y la investigación sigue adelante en lugares de la Antártida que potencialmente pueden aportar registros de testigos de hielo de más de un millón de años de antigüedad. También existen registros de dióxido de carbono más antiguos que los que proporcionan los testigos de hielo, aunque son menos precisos y mucho más difíciles de producir, porque requieren combinaciones complicadas de diversas pruebas geológicas y paleontológicas indirectas (por ejemplo, isótopos de carbono en compuestos de alquenona, el ratio de boro-calcio de las conchas de los foraminíferos, el número de estomas en hojas fosilizadas, etc.). A pesar de todas estas dificultades, registros de datos indicadores (proxy) fiables de CO₂ señalan que en la era preindustrial (es decir, antes de 1750) la concentración atmosférica del dióxido de carbono fluctuó aproximadamente entre 180 ppm y 290 ppm durante al menos 2,1 millones de años (WG1-AR5).

Superando la marca de 400 ppm de CO₂

En el siglo pasado, la humanidad ha conseguido aumentar la concentración atmosférica del CO₂ a un ritmo sin precedentes en los últimos 22.000 años (aproximadamente 1,5 ppm/año), y en la última década este ritmo ha crecido aún más, alcanzando una media de 2 ppm/año. En mayo de 2013, el Observatorio de Mauna Loa (Hawaii) registró por primera vez en la historia de registros climáticos una concentración diaria de CO₂ en la

atmósfera superior a 400 ppm, el valor más alto en los últimos 800.000 años, y probablemente también en los últimos 2,1 millones de años.

Las mediciones que se realizan en el Observatorio de Mauna Loa empezaron con Charles David Keeling en 1958, quien eligió esta remota ubicación en lo alto de un volcán hawaiano a casi 3.400 m por encima del nivel del mar porque el aire allí arriba no es ni industrial (como en zonas de población densa) ni pristino (como en la Antártida). Es decir, el aire está bien mezclado, y los climatólogos lo consideran como la referencia de la concentración media de CO₂ en la atmósfera de la Tierra. Los registros de CO₂ de Mauna Loa muestran un típico ciclo estacional impulsado por la vegetación, con una amplitud pico a pico de cerca de 6 ppm, un mínimo anual a principios de octubre, y un máximo en mayo. En consecuencia, a principios de octubre de 2013 se midió un mínimo cercano a 393 ppm, y ahora las concentraciones de CO₂ están subiendo una vez más para superar de nuevo las 400 ppm en verano de 2014. Si el aumento de la concentración media de CO₂ en la atmósfera continúa a esta velocidad vertiginosa, puede que el último registro de CO₂ por debajo de las 400 ppm lo veamos esta década, y podríamos alcanzar la marca de 450 ppm —el objetivo decisivo de estabilización para limitar el aumento de la temperatura media mundial al nivel de 2 °C— para dentro de 20 años.

Desde el punto de vista físico, el valor de 400 ppm de CO₂ no tiene mayor trascendencia: no lleva a una inminente catástrofe climatológica. El calentamiento global, el aumento del nivel del mar, la acidificación oceánica, la pérdida de hielo en el Ártico, el incremento de fenómenos climáticos extremos, así como otros indicadores del cambio climático provocado por el hombre ya han estado ocurriendo durante años, y continuarán ocurriendo en los años venideros. No obstante, desde el punto de vista político, superar las 400 ppm, sobre todo de la manera en que lo estamos

Tifones como Haiyan y sus impactos representan una lección para recordar a la comunidad internacional que no nos podemos permitir posponer la acción contra el cambio climático. [...]

Como consecuencia de este fenómeno climático extremo, mi país está sufriendo una locura. La crisis climática es una locura.

[...] Al parecer, a pesar de los significativos beneficios que hemos tenido desde que nació la convención marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático (UNFCCC), 20 años después seguimos sin poder cumplir el objetivo último de la convención. Ahora, nos encontramos en una situación en la que debemos preguntarnos si podremos alcanzar alguna vez el objetivo marcado en el Artículo 2, que es prevenir la peligrosa interferencia antropogénica en el sistema climático.

Si no cumplimos el objetivo, es posible que ratifiquemos la destrucción de los países vulnerables y tengamos que afrontar el problema de la pérdida y el daño causado por el cambio climático, que hoy en día es una realidad en todo el mundo. Los objetivos de reducción de emisiones por parte de los países desarrollados son peligrosamente bajos, y deben elevarse inmediatamente, pero, incluso si se correspondieran con la exigencia de reducirlos un 40-50 % por debajo de los niveles de 1990, el cambio climático seguiría existiendo, y seguiríamos teniendo que abordar el problema de la pérdida y el daño.

Naderev "Yeb" Saño

Comisionado para la Comisión sobre el Cambio Climático de Filipinas y Jefe de la Delegación de Filipinas de las Negociaciones sobre el Clima de la ONU .

Extractos de la Declaración de Filipinas en el pleno de apertura de la Conferencia sobre el Cambio Climático de las Naciones Unidas (ONU) en Varsovia (CP19), el 11 de noviembre de 2013^{††}.

^{††} Para más detalles sobre la Conferencia de la ONU en Varsovia, véase Galarraga, I. y M. Román (2013), "La Cumbre de Varsovia: pequeños avances en espera de decisiones de envergadura en la cumbre de París 2015", PB 2013 /Edición Especial-01/ Basque Centre for Climate Change (BC3), Bilbao, España.

haciendo —sin ninguna reducción significativa en la tasa de crecimiento de las concentraciones de CO₂— constituye, efectivamente, un fenómeno deplorable. Pone de manifiesto la inacción y la indiferencia de los gobiernos y de la sociedad con respecto a los cambios climáticos de los que somos responsables, que afectan sobre todo a los pobres y a los vulnerables, quienes tienen poca capacidad de adaptación y sufren las mayores consecuencias de un clima cambiante (por ejemplo, mayores problemas de salud).

Observaciones finales

Este informe ha demostrado que la concentración atmosférica del dióxido de carbono está aumentando a una velocidad que está dificultando cada vez más alcanzar el objetivo de estabilización de 450 ppm. Dicho objetivo es el que tiene la probabilidad de mantener los aumentos de temperatura de la superficie mundial 2 °C por encima de los niveles preindustriales, cifra que la comunidad global acordó en el Acuerdo de Copenhague de 2009 (la 15ª Conferencia de las Partes).

Es importante tener presente la diferencia fundamental que ocurre cuando empiezan las reducciones de las emisiones de carbono. En la última década, el ritmo medio de crecimiento de las emisiones de los combustibles fósiles fue del 3 % al año, el doble del observado entre 1980 y 2000. Dicho crecimiento ha sido espoleado por un mayor uso de un carbón relativamente barato. En un escenario de continuidad, las concentraciones atmosféricas de CO₂ alcanzarían más de 500 ppm para mediados del siglo XXI, un cambio del 25 % por encima del valor presente, lo que probablemente supondría un incremento de más de 2 °C en la temperatura media de la superficie mundial. Por otra parte, si se empezara a reducir las emisiones un 2 % al año antes de 2020, se limitaría la concentración mundial de dióxido de carbono por debajo de 450 ppm.

Un retraso en las reducciones de las emisiones aumentaría los riesgos del peligroso y potencialmente irreversible cambio climático, que afectaría a las futuras generaciones y a la naturaleza y aumentaría los costes de mitigación y adaptación. Desde una perspectiva puramente económica, los costes de mitigar el cambio climático traerán beneficios hasta un orden de magnitud mayor que los costes de conseguir reducciones. El hecho de que el valor presente de la acción es positivo es una conclusión sólida, que es independiente de la tasa de descuento social aplicada en el análisis de numerosos valores de esa tasa. Por eso, es necesaria una acción urgente para avanzar hacia el objetivo de estabilización de 450 ppm. Creemos que es posible y está justificado por motivos climáticos, sanitarios y económicos. Las sociedades deben dar los pasos necesarios para hacer esta transición, y deben empezar ahora.

El crecimiento demográfico descontrolado y la explotación ilimitada de los recursos naturales, que en el pasado fueron las estrategias más eficaces de la humanidad para adaptarse a entornos cambiantes o nuevos, nos convierten ahora en víctimas de nuestros propios intentos de mejorar las condiciones de vida en un mundo densamente poblado. Nuestros ancestros establecieron las bases de nuestro actual modo de vida, y provocaron los cambios climáticos que estamos viviendo ahora. No podemos echarles la culpa por eso. No sabían más. Nosotros, sin embargo, somos conscientes de ello. No podemos negarlo más y escondernos detrás de la falsa excusa de la ignorancia. Nos corresponde a nosotros decidir si nuestros descendientes nos alabarán por emprender un modo de vida nuevo y sostenible, o nos recriminarán por insistir egoístamente en el intento frustrado de mantener un modo de vida retrógrado a costa de su bienestar.

Reconocimientos

Damos las gracias a nuestros compañeros de BC3, así como a los participantes en los proyectos conjuntos de investigación como PURGE (Comisión Europea, 7º Programa Marco, GA# 265325; <http://www.purge.lshtm.ac.uk/>), que se ocupa de las estrategias urbanas con bajas emisiones de carbono y sus implicaciones sanitarias.

bc³

BASQUE CENTRE
FOR CLIMATE CHANGE
Klima Aldaketa Ikergai

Este documento informativo está escrito por Sérgio H. Faria, Joseph V. Spadaro y Anil Markandya*

** Dirección de correo del autor : sergio.faria@bc3research.org*

Citar como: Faria, S.H.; J.V. Spadaro y A. Markandya (2013), "Rompiendo la barrera de las 400 ppm: implicaciones físicas y sociales del reciente aumento de CO₂." ,Policy Briefings Series 2013/Edición especial-02/ Basque Centre for Climate Change (BC3), Bilbao, España .

La serie de Documentos Informativos de BC3 está editada por Aline Chiabai, Dirk Rübhelke, Mikel González-Eguino y Unai Pascual.

BC3, Basque Centre for Climate Change, es una institución de investigación ubicada en el País Vasco y dirigida por el profesor Anil Markandya. BC3 tiene como objetivo contribuir en la investigación a largo plazo sobre las causas y las consecuencias del cambio climático, y ofrece un análisis informativo relevante para abordar los retos medioambientales. Las opiniones expresadas en este documento informativo son responsabilidad de los autores, y no reflejan necesariamente la posición de Basque Centre for Climate Change (BC3).

Los documentos informativos de BC3 están disponibles en Internet en el siguiente enlace:

<http://www.bc3research.org/policybriefings>

Para consultas sobre los informes BC3 Policy Briefings:

Email: mikel.gonzalez@bc3research.org

