

# El cambio climático global

## Dos versiones del problema y una visión geológica

**Federico Ignacio Isla**

Universidad Nacional de Mar del Plata

El hombre está alterando los ciclos biogeoquímicos del agua, del carbono y del nitrógeno: el CHON. De este modo, podría estar incidiendo en el clima, produciendo cambios del mismo orden de magnitud que los que condicionaron la evolución de los homínidos durante el Plioceno, hace unos cuatro millones de años.

Desde que el hombre es homo ha dado crédito a versiones apocalípticas sobre el fin del planeta. El Apocalipsis fue propuesto por el temeroso *homo religioso*: la inundación de Noé relata un recuerdo transmitido o una advertencia de lo que podía ocurrir. También el moderno y metódico *homo científico* ha dado crédito a otras versiones: sobre la base de estudios astronómicos, el cometa Halley iba a impactar con la Tierra en el siglo XVIII, bajo escenarios bélicos más o menos fantasiosos, los marcianos invadían los Estados Unidos de América en el siglo XX y misiles de Occidente y Oriente se amenazaron mutuamente. Más recientemente las premoniciones apocalípticas prometían que el agujero de ozono aumentaría la radiación ultravioleta amenazando las especies de altas latitudes que no pudieran adaptarse.

En 1972 los científicos se reunieron para analizar cuándo y cómo iba a acabar el presente Interglacial: el clima benigno tenía que cambiar naturalmente a un clima frío.

Los homínidos más especializados que habían colonizado casi todos los continentes, debían prepararse para una nueva época glacial, y según George Kukla y Robert Matthews el cambio sería brusco. En esa reunión, un científico tímidamente alertaba que la emisión artificial de  $\text{CO}_2$  podía prolongar este interglacial. Mitchell consideró que durante siglos se había quemado el carbón del Paleozoico superior, y más aún, el boom petrolero emitía a la atmósfera una buena parte del carbono almacenado durante el Cretácico. Por otro lado, la deforestación estaba transfiriendo a la atmós-

fera el carbono que hasta entonces estaba almacenado como biosfera. Se entendía que el plancton oceánico podía procesar algo de ese carbono, pero el aumento del  $\text{CO}_2$  significaba indefectiblemente que se produciría un efecto invernadero con un aumento de la temperatura atmosférica. La Tierra evolucionaría hacia una atmósfera como la de Venus en lugar del degasificado vecino Marte.

En esa reunión se consideró que la emisión de gases por causas naturales (erupciones volcánicas, consumo bacteriano) era de magnitud semejante a las emisiones antropogénicas. El aumento de la temperatura avalaba estos presagios, y se consideró necesario monitorear estos cambios. Esto dio lugar al nacimiento del *International Panel for Climatic Change* (IPCC), recientemente galardonado con el premio Nobel.

A lo largo de los años siguientes las investigaciones científicas fueron generando un enorme volumen de resultados que fueron interpretados de diferente manera por los diferentes grupos de investigación. Actualmente, existen dos versiones del mismo problema. La dualidad característica del ser humano, la del doctor Jekyll y del señor Hyde, originó la realización de películas con visiones diferentes respecto de estos cambios globales: *An inconvenient truth* (<http://video.google.com/videoplay?docid=2078944470709189270#docid=-4295830951918801165>) y *The great global warming swindle* (<http://video.google.com/videoplay?docid=-5576670191369613647#>).

Entre las primeras aplicaciones de los estudios basados en la potencialidad de las computadoras estuvieron aquellos que permitieran predecir el comportamiento de

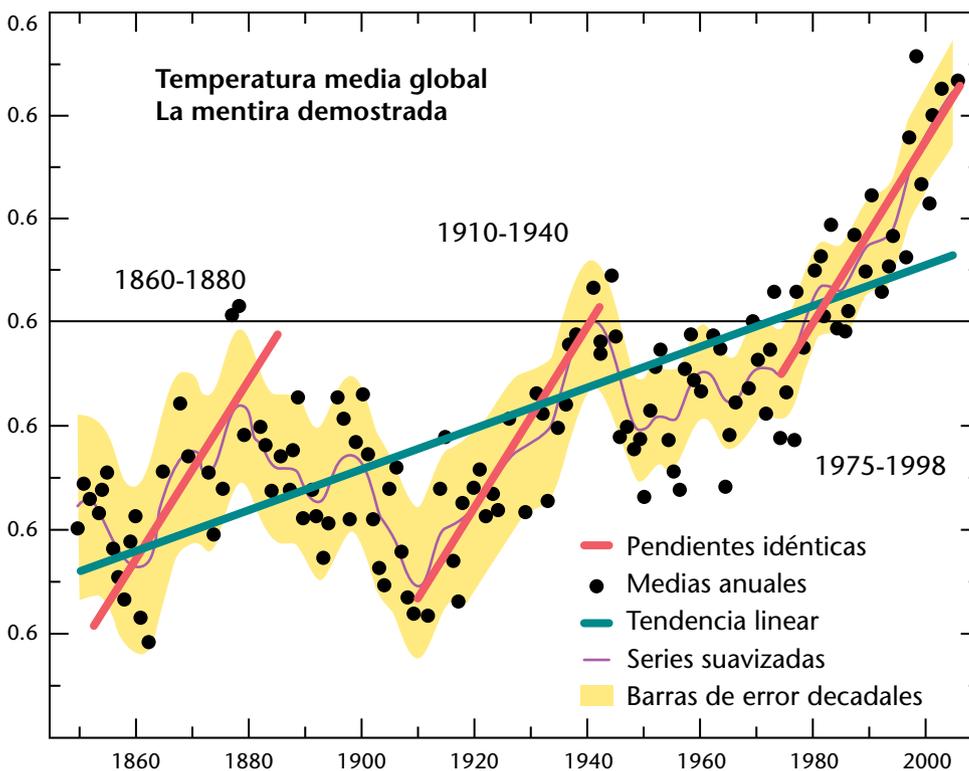


Figura 1. Variaciones de la temperatura atmosférica global en los últimos 150 años, según Monckton, 2009.

la economía y los que apuntaban a pronosticar el clima, temas fundamentales para el desarrollo de la sociedad. Hace unos diez años, se modeló el clima utilizando la información almacenada en los anillos de crecimiento de los árboles como siguiendo la forma de un palo de hockey; los resultados indicaban un descenso lento de la temperatura para luego comenzar a subir rápidamente en los últimos años ([http://scienceandpublicpolicy.org/monckton/what\\_hockey\\_stick.html](http://scienceandpublicpolicy.org/monckton/what_hockey_stick.html)).

Sin embargo, hay tres temas que en este modelo permanecen oscuros:

- 1) No se explica el máximo climático de la Edad Media.
- 2) Tampoco el máximo de 1940.
- 3) En el modelo se cambió –intencionada o inocentemente– el indicador climático para los datos posteriores a 1960. Los anillos de los árboles fueron reemplazados por mediciones directas de la temperatura atmosférica.

Uno de los programas que da fundamento a los pronósticos del IPCC aclara: *recent decline in tree-ring density has been artificially removed to facilitate calibration* (El reciente decaimiento de la densidad de anillos de árboles ha sido eliminado artificialmente para facilitar la calibración).

Esto significa que se ha cambiado el caballo en el medio del río. Es decir, se ha cambiado el indicador y, llamativamente, los anillos modernos no indicaban el ‘calentamiento pretendido’ (<http://scienceandpublicpolicy.org/originals/climategate.html>).

Hoy en día existen varias curvas que pronostican el aumento de la temperatura. Nos alertan sobre el aumento de los últimos años por emisión de gases, pero no explican los aumentos para los períodos en que la emisión de gases antropogénicos era baja (1860-1880 o 1910-1940; figura 1).

En 1991, la respuesta me la dio un científico de la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA): Las estadísticas meteorológicas se basan en las mismas estaciones, pero no son los mismos lugares. Porque las estaciones meteorológicas más antiguas han quedado encerradas en ciudades, con los efectos térmicos de las islas de calor.

Las estadísticas meteorológicas deben contemplar los efectos interanuales que se dan en el océano, más precisamente en el Pacífico, que es más grande.

La respuesta más confiable nos la dan las mediciones de temperatura obtenida de los satélites. Si bien son obtenidas a 800km por encima de la superficie, han puesto claramente en evidencia, entre otras cuestiones:

1) el descenso de la temperatura inducido por la erupción del Pinatubo (1991);

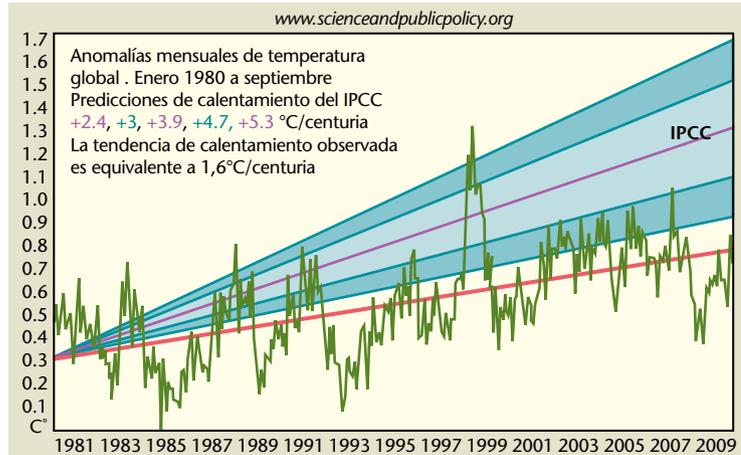
2) el aumento inducido por los años de El Niño, por ejemplo, el de 1998 (figura 2), y

3) caídas bruscas de la temperatura como la registrada entre El Niño de 2007 y La Niña de 2008. Estas últimas son interpretadas como una tendencia de enfriamiento para los últimos siete años.

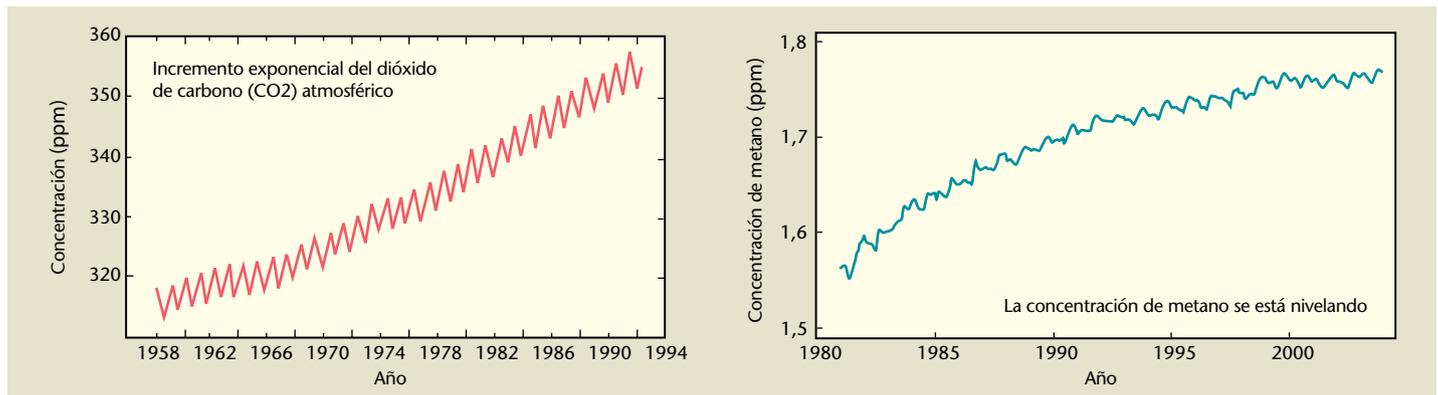
- 1) el descenso de la temperatura inducido por la erupción del Pinatubo (1991);
- 2) el aumento inducido por los años de El Niño, por ejemplo, el de 1998 (figura 2), y
- 3) caídas bruscas de la temperatura como la registrada entre El Niño de 2007 y La Niña de 2008. Estas últimas son interpretadas como una tendencia de enfriamiento para los últimos siete años.

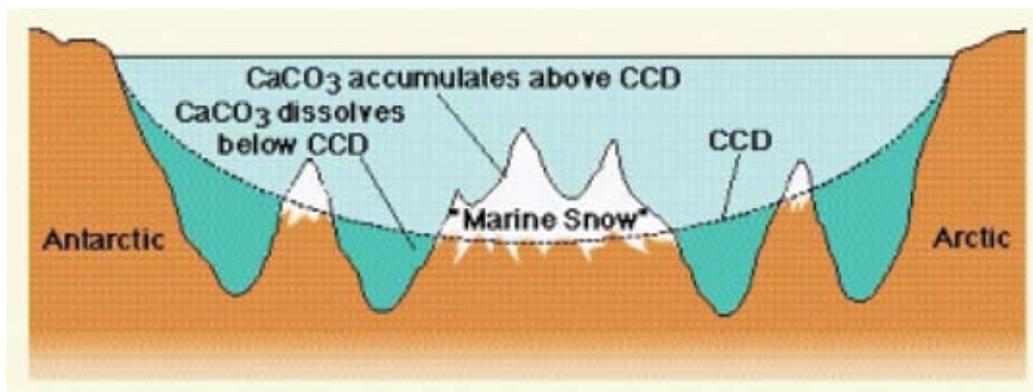
Las variaciones interanuales enmascaran las tendencias. Sin duda llamó la atención que el 9 de julio de 2007 se derritiera parcialmente el glaciar Perito Moreno (¡en invierno!) y que el 9 de julio de 2008 nevara en Buenos Aires.

**Figura 2.** Variaciones de la temperatura global registradas por satélites en los últimos diez años, según Monckton, 2009.



**Figura 3.** Variaciones del CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub> en los últimos años, modificado de SEPM Photo CD11, 1997, *Environmental Science*, 2.





**Figura 4.** Esquema simplificado de la relación de la profundidad de compensación de la calcita y la 'nieve oceánica', modificado de SEPM Photo CD3, 1996, Oceanograph.

Si consideramos la última década, la atmósfera se estaría enfriando debido al efecto combinado El Niño-La Niña (figura 2), pero la tendencia de aumento térmico puede ser juzgada como catastrófica si se considera el final de la serie La Niña 2008-El Niño 2009.

Más aún, se presenta otra cuestión respecto a las predicciones teóricas con relación a los registros. Los gases de efecto invernadero no se comportan del mismo modo. Mientras el  $\text{CO}_2$  ha aumentado exponencialmente, el metano se está nivelando en los últimos años (figura 3).

## El rol de la hidrosfera

Si bien se conoce y se modela el efecto del océano superficial con cierta precisión y detalle, poco se conoce sobre los procesos biogeoquímicos que ocurren en el océano profundo. Los caparazones carbonáticos de los organismos marinos muertos comienzan a incrementar su disolución a partir de un nivel llamado *lisoclina*. Por debajo del mismo los materiales calcíticos son inferiores al 20% del sedimento total. Esta línea se conoce como profundidad de compensación de la calcita (CCD, por su sigla en inglés) y varía espacialmente de norte a sur, de oeste a este, y también ha variado durante el tiempo geológico. Es por este nivel que las cordilleras mesoocéanicas se presentan 'nevadas' (tapiizadas) de fangos carbonáticos compuestos de restos de foraminíferos (figura 4).

Otra duda que se plantea es la velocidad a la que el océano responde a los cambios atmosféricos. Comparando las curvas de variación del clima respecto de las variaciones del nivel del mar, se han detectado lapsos de respuesta que no son inmediatos, y cuyas variaciones obedecerían a la asimetría actual entre el hemisferio continental del norte y el oceánico sur.

Se acepta que la hidrosfera responde más lentamente a los cambios climáticos, casi del mismo modo que las aguas costeras se calientan y se enfrían a diferente velocidad respecto de los cambios estacionales que afectan el continente.

## ¿Que pasó durante el Plioceno?

Si bien temperaturas cálidas superiores a las actuales ya ocurrieron en el Cretácico- que se extendió entre los 145,5 y los 65,5 millones de años antes del presente, existen antecedentes más modernos que se asemejan a las del presente Interglacial.

Durante el Plioceno Superior -3,6 a 1,8 millones de años antes del presente- con una distribución de continentes y corrientes oceánicas aproximadamente similar a la actual, las temperaturas de las corrientes de fondo habrían sido superiores a las actuales. Los procesos que ocurrieron en el Piacenziano Medio, entre 3,29 y 2,97 millones de años antes del presente, provocaron fluctuaciones en la temperatura del fondo oceánico similares a las más recientes, originadas mayormente por variaciones de la oblicuidad del eje de la Tierra (figura 5).

Las mediciones realizadas para establecer las relaciones Mg/Ca de caparazones carbonáticos de una especie de ostrácodo, que es un pequeño crustáceo marino, han indicado temperaturas mayores a las actuales en los fondos de los distintos océanos, aunque los muestreos están sesgados al Atlántico norte, donde trabajaron HJ Dowsett y su equipo. Estos datos están siendo aportados por un proyecto del servicio geológico norteamericano (USGS) denominado *Pliocene Research, Interpretation and Synoptic Mapping (PRISM)* (<http://geology.er.usgs.gov/eespteam/prism/index.html>).

Este 'superinterglacial' pliocénico podría deberse a dos causas:

- 1) aumento de las concentraciones atmosféricas naturales de  $\text{CO}_2$ , o
- 2) aumento del flujo de calor oceánico hacia el Hemisferio Sur. En otras palabras, un mayor flujo del agua profunda del Atlántico norte (NADW por su sigla en inglés).

Este modelo de distribución de temperaturas de fondo oceánica no tiene en cuenta:

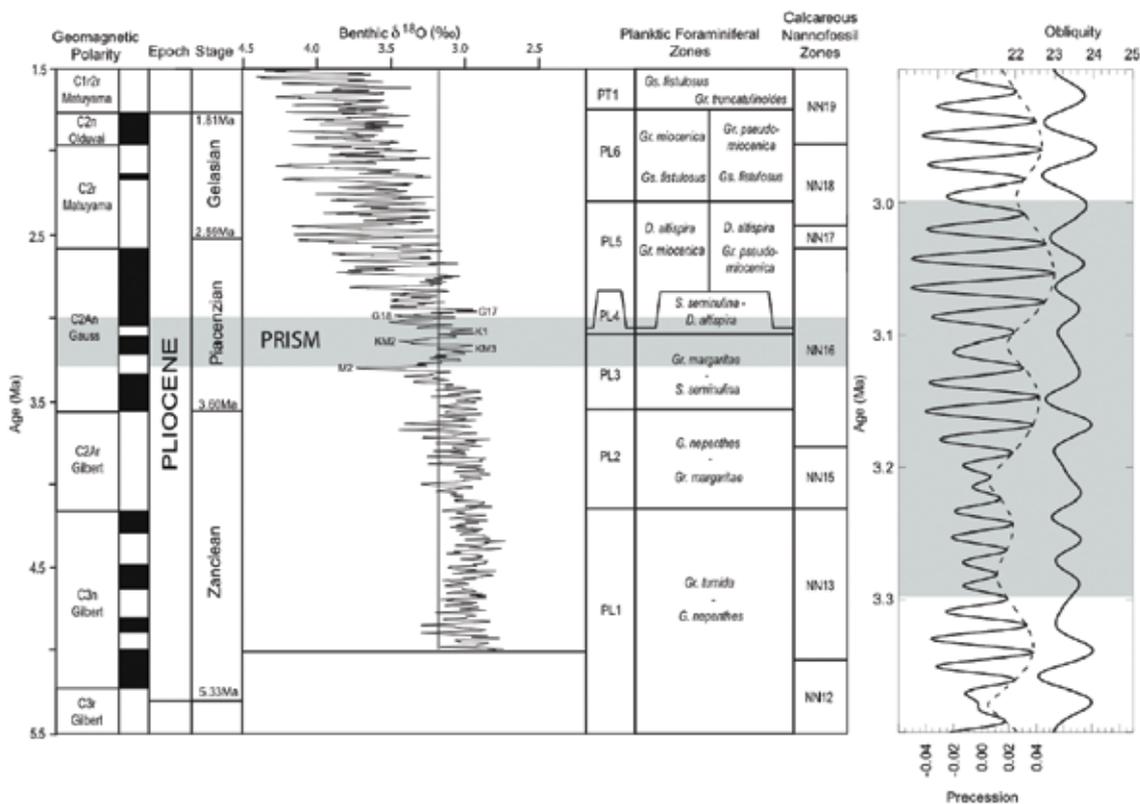


Figura 5. Fluctuaciones de la temperatura oceánica profunda durante el Plioceno según Dowsett y su equipo, 2009.

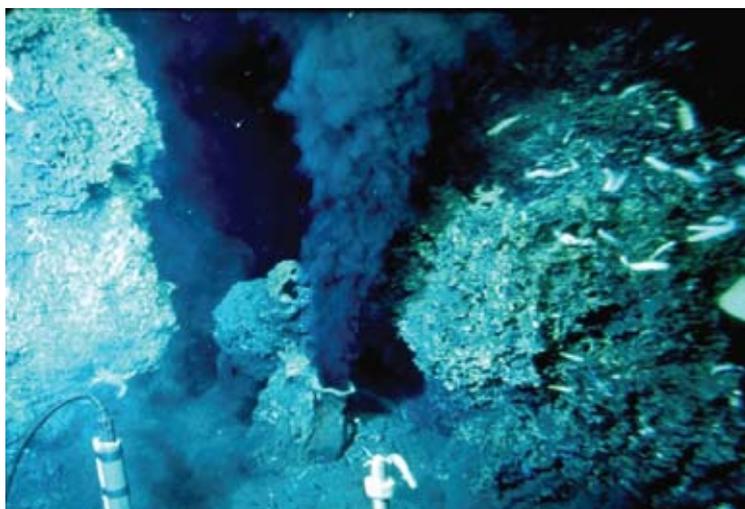


Figura 6. Fumarola mesoocéánica con pelecípodos y crustáceos, modificado de SEPM Photo CD3, 1996, Oceanography.

- a) eventuales pasos oceánicos (por ejemplo Gibraltar, Panamá, Drake) que pudieran haber estado operando durante el Piacenziano Medio, o
- b) mayor transporte de calor por tormentas tropicales desde el ecuador hacia los polos.

Resulta entonces necesario intensificar la atención y los estudios a los cambios climáticos globales que ocurrieron recientemente, pero cuando el hombre no tenía ninguna injerencia en el clima.

## La vida continúa

¿Estos cambios harán desaparecer la vida del planeta? Seguramente no. Habrá cambios en la biota inducidos por la actividad humana, como ya ha ocurrido, y probablemente sean a una escala mayor.

La evolución de la vida estuvo signada por hitos determinados por cambios lentos y bruscos, estos últimos causados por impactos de cuerpos celestes. Si en algún momento se produjera el impacto de otro asteroide o cometa, como los que ya causaron extinciones masivas, ese impacto podría originar cambios que afectarían a las especies más especializadas, sobre todo a aquellas que directa o indirectamente dependen de la luz del Sol.

Sin embargo, existen unas pocas especies que viven independientemente del Sol. Los organismos quimio-litoautótrofos (gusanos, pelecípodos y crustáceos) viven en simbiosis con bacterias que oxigenan el sulfuro, asociados a las fumarolas de las dorsales mesoocéánicas (figura 6). Por diversos mecanismos estos organismos reciben el carbono de las bacterias que se hospedan en estructuras especiales.

Mientras en nuestro planeta las placas tectónicas se sigan desplazando, habrá actividad volcánica en el fondo de la hidrosfera y estos organismos podrán vivir independientemente de lo que le ocurra a la atmósfera. Y si una debacle ocurriera en superficie (impacto de cometa, guerra misilística o cualquier otro fenómeno catastrófi-

co), estos organismos, podrían evolucionar dando lugar a otro cambio drástico de la vida en la Tierra.

Sintetizando algunas de las ideas expuestas, podríamos puntualizar:

1. Los cambios climáticos existen desde que hay atmósfera.
2. La valoración del calentamiento global depende de la escala de análisis. A gran escala depende de las fluctuaciones del Sol, de la relación del océano Pacífico con la atmósfera (ciclos ENSO) y de los efectos que pudieran causar grandes y frecuentes erupciones volcánicas.
3. De todos modos, las alteraciones antropogénicas inducen cambios cada vez más significativos en los ciclos biogeoquímicos superficiales, pero con pronóstico desconocido respecto de sus efectos en el océano profundo. **CH**



### Federico Ignacio Isla

Doctor en ciencias naturales, Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata (UNLP).

Profesor adjunto exclusivo, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, UNMDP.

Investigador principal del Conicet.

Consejero Superior, UNMDP.

[fisla@mdp.edu.ar](mailto:fisla@mdp.edu.ar)

## LECTURAS SUGERIDAS

BURKE MB, MIGUEL E, SATYANATH S, DYKEMA JA & LOBELL DB, 2009, 'Warming increases the risk of civil war in Africa', *PNAS*, 106, 49, pp. 20670-20674.

CHILDRESS JJ, FELBECK H Y SOMERO GN, 1987, 'Simbiosis en las profundidades marinas', *Investigación y Ciencia*, 130, pp. 78-85.

DOWSETT HJ, ROBINSON MM & FOLEY KM, 2009, 'Pliocene three-dimensional global ocean temperature reconstruction', *Climate on the Past*, 5, pp. 769-783.

GILL AE & RASMUSSEN EM, 1983, 'The 1982-83 climate anomaly in the Equatorial Pacific', *Nature*, 306, pp. 229-234.

ISLA FI, 1998, 'Los fantasmas del planeta', *CIENCIA HOY*, 8, 46, pp. 58-64.

KUKLA GJ & MATTHEWS RK, 1972, 'When will the present interglacial end?', *Science*, 178, pp. 190-191.

MITCHELL JM, 1972, 'The natural breakdown of the Present Interglacial and its possible intervention by human activities', *Quaternary Research*, 2, pp. 436-445.

MONCKTON CH, 2009, 'Caught green-handed! Cold facts about the hot topic of global temperature change after the Climategate scandal', *Science and Public Policy Institute*, 1-42.

PUCCIARELLI HM, 2006, 'Novedades sobre el origen del hombre moderno', *CIENCIA HOY*, 16, 91, pp. 40-50.

SCHNEIDER SH, SEMENOV S, PATWARDHAN A, BURTON I, MAGADZA CHD, OPPENHEIMER M, PITTOCK AB, RAHMAN A, SMITH JB, SUAREZ A & YAMIN F, 2007, 'Assessing key vulnerabilities and the risk from climate change', en Parry ML, Canziani OF, Palutikof JP, Van der Linden PJ y Hanson CE, eds., *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, pp. 779-810.