

Silvina A Solman

Centro de Investigaciones del Mar y la Atmósfera
UBA-Conicet

Actividad humana y cambio climático

El sistema climático de la Tierra es complejo. Incluye la atmósfera, los océanos y otros cuerpos de agua continentales, las superficies terrestres, y los hielos continentales y marinos. Esos componentes interactúan entre sí de una forma que nada tiene de sencilla. El clima evoluciona con el tiempo debido a la influencia de factores o *forzantes* internos y externos. Los primeros comprenden los mecanismos de interacción entre las diferentes componentes del sistema climático, a los que nos referimos como la influencia de la dinámica interna. El fenómeno conocido como *El niño-oscilación del sur* es un excelente ejemplo de variabilidad interna del sistema climático. Los factores externos incluyen fenómenos naturales –por ejemplo, erupciones volcánicas, variaciones en la actividad solar o en la órbita terrestre– y también efectos de la actividad humana o *forzantes antropogénicos*, entre otros, modificaciones de la composición de la atmósfera por la emisión de gases por la quema de combustible fósil, o cambios en la cobertura vegetal de suelo por la agricultura o la urbanización.

Los *forzantes* externos determinan el *balance radiativo* en la Tierra, es decir, el balance entre la energía recibida del Sol y la emitida por la Tierra y su atmósfera. Variaciones en la magnitud de esos *forzantes* resultan en cambios en dicho *balance radiativo* y, como consecuencia, en cambios del clima. Pero es necesario tomar en cuenta las escalas de tiempo en la que se producen los cambios. Las variaciones climáticas que acaecen a lo largo de millones de años pueden ser mucho mayores y tener causas diferentes (por ejemplo, la alteración de las posiciones de los continentes, o *deriva continental*) que aquellas acontecidas en el lapso de un siglo.

¿En qué medida pueden afectar el clima los cambios de los *forzantes* externos? ¿Y en qué escala temporal? El esfuerzo por responder a estas preguntas permite, en primer lugar, entender las variaciones climáticas del pasado y, en segundo lugar, proyectar la evolución futura del clima.

El clima de los últimos mil años ha recibido recientemente considerable atención en la literatura técnica,

¿DE QUÉ SE TRATA?

Síntesis de la opinión aceptada por la mayoría de los científicos que estudiaron el cambio del clima de la Tierra en el último siglo y medio.

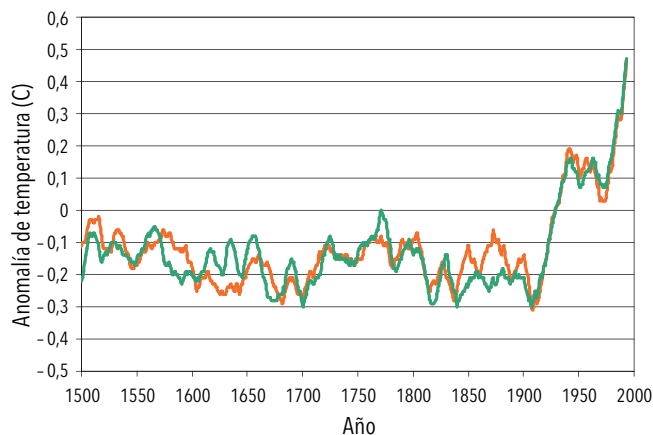


Figura 1. Evolución de la temperatura media del hemisferio norte durante los últimos 500 años. Las curvas (verde y naranja) corresponden a diferentes reconstrucciones de la temperatura media anual (datos del World Data Center for Paleoclimatology and NOAA Paleoclimatology Program, Estados Unidos). La anomalía se calcula como la diferencia entre la temperatura media de cada año y el promedio del período 1000-1990.

debido al interés por distinguir entre forzantes naturales y forzantes antropogénicos en las variaciones de la temperatura terrestre. Si bien las mediciones instrumentales de temperatura y los correspondientes registros solo abarcan aproximadamente los últimos 150 años, se han podido realizar estimaciones de temperatura global o hemisférica de los últimos siglos sobre la base de, entre otras fuentes, documentos históricos, anillos de crecimiento de árboles, datación de fósiles, sedimento acumulado en el fondo de lagos, polen y núcleos de aire atrapados en capas de hielo. Esas fuentes, denominadas *proxys* paleoclimáticos, permiten identificar períodos con condiciones climáticas particulares.

La figura 1 muestra la evolución de la temperatura media del hemisferio norte durante los últimos 500 años obtenida a partir de dichas fuentes. Diferentes reconstrucciones de la evolución del clima arrojan diferencias entre ellas, pero no obstante es posible identificar un período frío que duró hasta aproximadamente 1850. Durante ese período, conocido como la *pequeña edad de hielo*, las menores temperaturas se registraron durante los llamados *mínimo de Maunder tardío*, entre alrededor de 1680 y 1710, caracterizado por actividad solar reducida e intensa actividad volcánica; y *mínimo de Dalton*, que tuvo lugar hacia 1820. Desde el fin de la *pequeña edad de hielo* y hasta el presente, el incremento de la temperatura fue sostenido y a ritmos sin precedentes.

En años recientes hubo un enorme progreso en los estudios de detección y atribución del cambio climático registrado durante los últimos 150 años. El Cuarto Informe de Evaluación publicado por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático en 2007 presenta evidencias convincentes sobre la influencia en el clima global de la mayor concentración en la atmósfera de gases de efecto invernadero

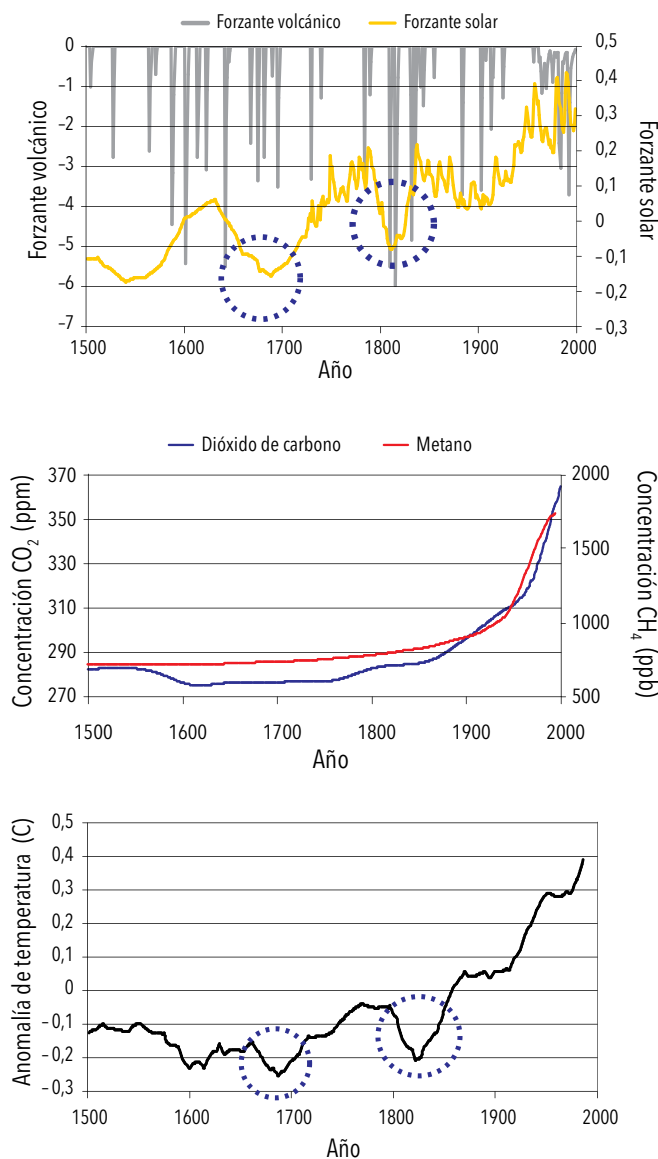


Figura 2. Forzantes del sistema climático. Panel superior: en el eje izquierdo se muestran las anomalías (respecto del promedio de los últimos 400 años) del forzante radiativo correspondiente a las erupciones volcánicas, estimado a partir de la concentración de sulfatos en testigos de hielo. El eje derecho muestra las anomalías del forzante solar (respecto del promedio de los últimos 400 años) escaladas considerando que las variaciones de la actividad solar durante los últimos seis siglos son del orden del 0,25%. Panel medio: concentración de dióxido de carbono y de metano. Panel inferior: temperatura simulada por un modelo climático en respuesta a todos los forzantes. Los círculos punteados azules denotan los momentos de menor actividad solar y su correspondencia con las menores temperaturas medias estimadas. Datos del World Data Center for Paleoclimatology and NOAA Paleoclimatology Program, Estados Unidos.

emitidos por la actividad humana. Numerosos estudios recientes, basados en resultados obtenidos procesando modelos matemáticos avanzados del clima, concluyen que el calentamiento registrado durante el siglo XX es atribuible a dicha actividad. Esos estudios evaluaron la influencia de los

forzantes externos mencionados en el primer párrafo, tanto naturales como antropogénicos, y en particular, entre los segundos, la concentración de dióxido de carbono y metano en la atmósfera. Los resultados se sintetizan en la figura 2.

Se puede advertir que los momentos de menor actividad solar se corresponden con las menores temperaturas medias estimadas por los modelos, particularmente en los mínimos de Maunder y de Dalton. Estos resultados refuerzan las hipótesis de que en ambos períodos fríos se sufrieron los efectos de erupciones volcánicas y de mínima actividad solar, pero se tiene gran incertidumbre sobre la magnitud de la influencia de esos forzantes. Durante dichos períodos la concentración media de dióxido de carbono en la atmósfera alcanzaba valores de alrededor de 275 partes por millón (ppm), y la de metano, cerca de 0,735ppm. A partir de mediados del siglo XIX, se produjo por acción humana un marcado incremento en la concentración de los gases de efecto invernadero indicados, y también se registró en el mismo período un incremento sostenido de la temperatura media. La opinión científica predominante, avalada por los mencionados estudios, es que el primer fenómeno tuvo una importante influencia en el segundo.

La concentración atmosférica de dióxido de carbono varió a lo largo de los últimos 65.000 años entre un mínimo de 180ppm durante los períodos glaciales y un máximo de 300ppm durante períodos cálidos interglaciales. Esas estimaciones se realizaron analizando aire atrapado en el hielo de la Antártida. En el siglo XX se incrementó rápidamente por encima de ese rango y, en la actualidad, alcanza aproximadamente 379ppm, un valor que solo fue superado en otras eras geológicas, hace millones de años. El incremento de unas 80ppm al final de los períodos glaciales tardó unos 5000 años.

La figura 3 permite identificar por separado la influencia de los forzantes naturales y antropogénicos en la temperatura media del hemisferio norte durante los últimos 500 años, a partir de simulaciones con modelos climáticos de diferente complejidad. Las simulaciones que no incluyen factores antropogénicos no reflejan adecuadamente la evolución de las temperaturas registradas durante los últimos 150 años, pues predicen un máximo de tempera-

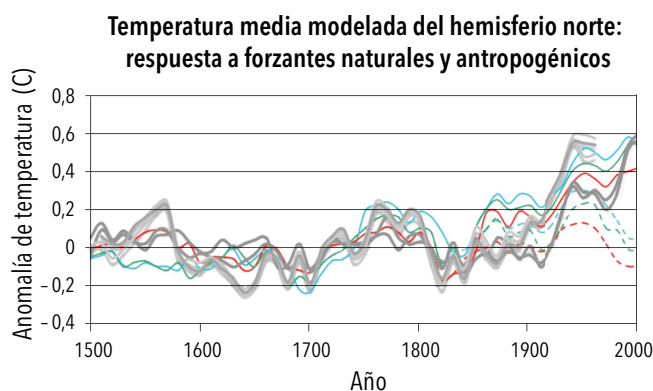


Figura 3. Anomalía de la temperatura media del hemisferio norte simulada con modelos climáticos de diferente complejidad considerando tanto solo forzantes naturales (líneas punteadas en colores) como forzantes naturales y antropogénicos (líneas continuas en colores). Las líneas grises representan diferentes reconstrucciones de la temperatura. Adaptación de la figura publicada en el Cuarto Informe de Evaluación del Panel Intergubernamental de Cambio Climático, 2007.

tura a mediados del siglo XX y un posterior decrecimiento de ella, a pesar de que la actividad solar se mantiene en un nivel anómalamente alto durante todo ese siglo. Ese resultado sugiere que la contribución de los forzantes naturales al calentamiento observado a lo largo del siglo es pequeña, y que ni la actividad solar ni la actividad volcánica son los principales responsables del calentamiento ocurrido después de 1950. La conclusión es que ese calentamiento debe atribuirse en medida dominante a la mayor concentración en la atmósfera de gases de efecto invernadero ocasionada por la actividad humana.

A la luz de esta conclusión, y aceptando que los actuales modelos matemáticos de simulación del clima permiten estimar con aceptable aproximación la evolución del clima observado, se puede anticipar que su rumbo futuro estará decididamente influido por lo que suceda con los gases de efecto invernadero. Si bien la actividad solar tiene alguna influencia, los cambios de la concentración de gases de efecto invernadero serán determinantes. **CH**

LECTURAS SUGERIDAS

CROWLEY TJ, 2000, 'Causes of climate change over the past 1000 years', *Science*, 289: 270-277.

SOLMAN S, 2005, 'Cambio climático. ¿Mito o realidad?', *Encrucijadas*, 30: 52-57.

SOLOMON S et al. (eds.), 2007, *The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press.



Silvana Solman

Doctora en ciencias de la atmósfera, UBA. Investigadora independiente del Conicet. Profesora adjunta, Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos, FCEN, UBA.