

# Anomalías frías en el calentamiento global

JOSÉ MARÍA SÁNCHEZ-LAULHÉ

La figura 1 presenta un mapa global de las anomalías de la temperatura media de 2012-2016, periodo en el que el planeta experimentaba las temperaturas más cálidas registradas en la superficie, con respecto a la media 1951-80. La temperatura promediada globalmente en 2016 fue 0.99 °C más cálida que la media de siglo XX, y 1.1 °C por encima de las registradas al final del siglo XIX, en su mayor parte producido por el aumento de los gases de efecto invernadero en la atmósfera causado por el hombre.

Como se manifiesta en la figura, el calentamiento es casi general tanto en tierra como sobre los océanos, pero no es uniforme, pues el cambio de temperatura en cualquier región particular es una combinación de efectos relacionados con la radiación (a través de gases de efecto invernadero, aerosoles, ozono y similares) y efectos dinámicos. Los efectos dinámicos (cambios en los vientos y la circulación del océano) localmente pueden causar temporalmente un impacto tan grande como el forzamiento radiativo de los gases de efecto invernadero. Dado que los vientos y corrientes tienden a repartir el calor de un lado a otro, el impacto de la dinámica tiende a anularse en la media global.

Lo más llamativo del mapa son las zonas en azul que corresponden a anomalías frías. En el hemisferio sur hay una particularmente extensa que se extiende por la mayor parte de la Antártida oriental, y se adentra en el sur del océano Pacífico al oeste del mar de Ross, frente a la zona donde la cordillera Transantártica llega a la costa. La anomalía desaparece al oeste de las costas sudamericanas reapareciendo en el Atlántico al este del paso de Drake y de la Patagonia. En el hemisferio norte hay otra anomalía fría de menor dimensión, aunque sorprendente, situada en el Atlántico norte subpolar, conocida en la literatura anglosajona como *the cold blob* (la burbuja fría) que alcanza latitudes próximas a las

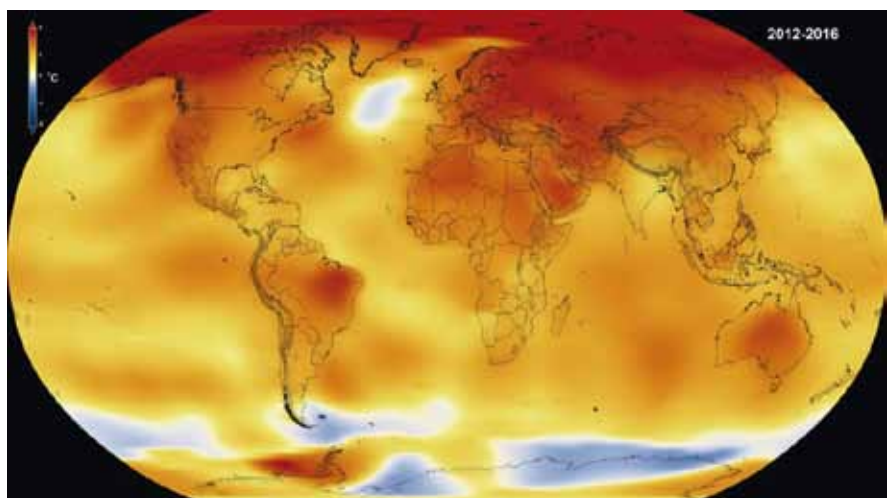


Figura 1. Anomalías de la temperatura media en superficie del periodo 2012-2016 respecto a la media 1951-80. Fuente: NASA/Goddard Space Flight Center Scientific Visualization Studio

del norte de la península ibérica. En la figura 2, debida a Rahmstorf *et al.* (2015), que muestra la tendencia lineal de la temperatura en superficie para el periodo 1901-2013, la burbuja fría es la única zona con tendencia negativa, mientras que la Antártida, salvo la península antártica, está en blanco por falta de datos. Hay que advertir que el uso del término 'cold blob' para la tendencia a largo plazo no está generalizado, a diferencia de lo que ocurre con el enfriamiento récord ocurrido en el 2015.

## ¿Enfriamiento de la Antártida?

Probablemente las temperaturas sobre el continente antártico experimentaron un enfriamiento en el periodo 1995-2015. No obstante parece que, en promedio, las temperaturas han subido durante los últimos 40 años, y no hay información sobre lo ocurrido en un periodo más largo (Bertler *et al.* 2004). Tras las dos décadas de enfriamiento, en los dos últimos años, la tendencia ha cambiado y se ha producido un calentamiento que se refleja en la disminución de la extensión del mar de hielo (figura 3). Una excepción es la península Antártica, en la que se observa una importante anomalía cálida, que se evidencia tanto en la figura 1 como en la figura 2. Aunque la Península ha sufrido una disminución de la temperatura de  $-0.47$  °C/década en el periodo 1999-2014, durante los 50 años anteriores se calentó a un ritmo de  $\sim 0.5$  °C/década, siendo la tendencia secular de calentamiento una de las máximas del globo.

Para explicar la singularidad de la evolución de las temperaturas en la Antártida es necesario recurrir a la dinámica atmosférica regional, porque las temperaturas en esa región son especialmente sensibles a los cambios de circulación atmosférica en niveles bajos, debido a los fuertes gradientes de temperatura existentes entre el continente antártico y el océano circundante.

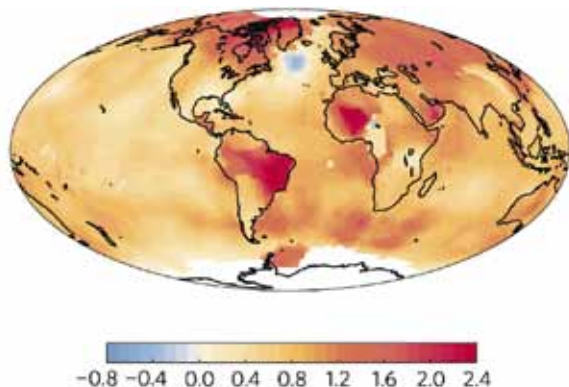
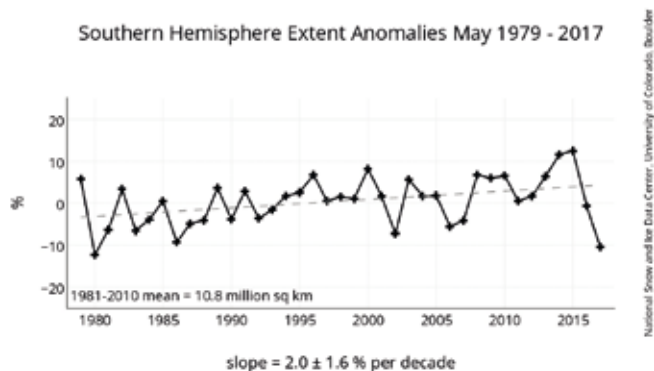


Figura 2. La tendencia lineal de la temperatura en superficie para el periodo 1901-2013. Las zonas blancas indican falta de datos (Rahmstorf *et al.* 2015).



**Figura 3. Evolución de la anomalía de la extensión del hielo en el hemisferio sur en los meses de mayo del periodo 1979-2017**

El principal modo de variabilidad de la circulación atmosférica en las regiones extratropicales del hemisferio sur es el Modo Anular del Sur (SAM) u Oscilación Antártica (AAO), que es esencialmente una estructura simétrica, pero con un patrón zonal ondulatorio de número de onda 3 superpuesto (figura 4, parte superior), está asociado a anomalías sincronas de presión o de altura del geopotencial de signos opuestos en medias y altas latitudes, y por tanto refleja los cambios del principal cinturón de vientos oestes subpolares. En la fase positiva del SAM (o de la AAO) hay un fortalecimiento de los vientos del oeste, que actúa a modo de barrera impidiendo que el aire cálido llegue al continente. El índice SAM basado en observaciones revela que desde principios de la década de 1960 ha estado más frecuentemente en la fase positiva que en la negativa, lo que sin duda ha contribuido al enfriamiento del continente en este periodo. Esta relación entre el SAM y las temperaturas resulta patente en el gráfico inferior de la figura 4. La preponderancia de la fase positiva del SAM también explica el fuerte calentamiento de la zona de la península antártica (en rojo en el gráfico inferior de la figura 4). Un índice SAM positivo está asociado a bajas presiones en el oeste de la Península, lo que lleva a una intensificación del flujo atmosférico en dirección al polo sur, que da lugar al consiguiente calentamiento y reducción del mar de hielo en la región, y una mayor frecuencia de pasos de masas de aire cálidas marítimas sobre la Península, llevando al marcado calentamiento del nordeste de la península que se observa en verano y otoño (diciembre- mayo)

Con respecto al futuro, los modelos climáticos sugieren que a medida que avancemos en el tiempo, lo más probable es que en la evolución de las temperaturas de la Antártida crezca la importancia relativa del aumento de los efectos radiativos, frente a los efectos dinámicos de la atmósfera y del océano. En resumen, se espera que la Antártida se caliente en el futuro.

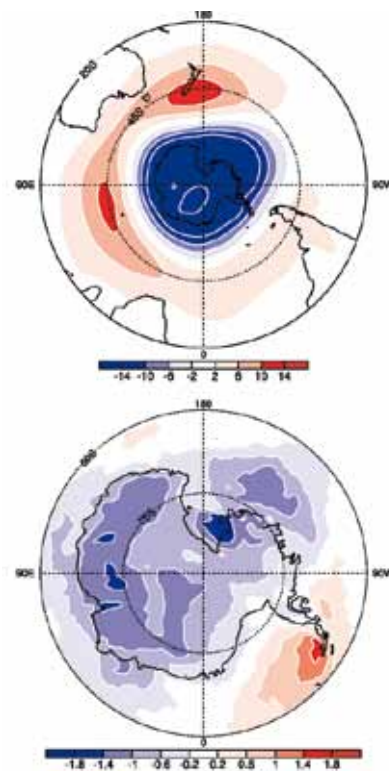
## “La burbuja fría” del Atlántico norte

Uno de los eventos climáticos más notables de los últimos años ha sido un excepcional enfriamiento en el Atlántico norte sub-

polar en el invierno de 2014 a 2015, comúnmente conocido en la literatura anglosajona como “the cold blob” (“la burbuja fría”), mientras el planeta experimentaba las temperaturas globales medias más cálidas nunca registradas. Esta anomalía fría, un tanto sorprendente, ha despertado considerable atención en los medios, así como gran interés en la comunidad científica.

Muchos científicos pensaban que el origen de esta anomalía estaba, al menos en parte, en el agua fría y dulce fundida del manto de hielo de Groenlandia, lo cual podría ser un síntoma del temido debilitamiento, debido al cambio climático, de la gran cinta transportadora oceánica denominada Circulación Meridional Atlántica (*Atlantic Meridional Overturning Circulation: AMOC*). La AMOC es el flujo oceánico norte sur a escala de la cuenca atlántica que se inicia con hundimiento hasta el fondo de agua fría del mar frente a Groenlandia, fluyendo posteriormente hacia el sur, y siendo reemplazada por agua más caliente que fluye en la superficie desde el sur, transfiriendo calor desde los trópicos a la costa este de Norteamérica y la costa oeste de Europa (ver figura 5). Sin ella, Europa occidental y el este de América del norte se enfriarían significativamente, con un gran número de efectos adversos potenciales. Sabemos a partir de los datos de temperatura obtenidos de los hielos de Groenlandia y la Antártida que la AMOC se ha detenido abruptamente muchas veces y que ha tardado del orden de un milenio en recuperarse. La brusquedad relativa de estas interrupciones ha llevado a considerar la existencia de un umbral -un punto de inflexión (*tipping point*)- que una vez traspasado la interrupción

se vuelve inevitable. La causa de estas interrupciones suele atribuirse a una cantidad de agua dulce mayor de la habitual flotando en la superficie del mar cerca de Groenlandia; agua dulce que no se hundiría en la más densa agua de mar. Una vez que el agua alrededor de Groenlandia deja de hundirse, la AMOC se detiene. El origen del agua dulce en el pasado pudo deberse a la fusión de hielo en el Escudo Canadiense como probablemente ocurrió hace 12.000 años, al aumento de las precipitaciones, como es probable que suceda con el calentamiento global, o bien a la pérdida de hielo de Groenlandia como está ocurriendo ahora. Según Boning *et al.* (2016) el manto de hielo de Groenlandia ha experimentado una pérdida de masa en aumento desde la década de 1990 y se ha iniciado una tendencia gradual hacia la dulcificación en la superficie del mar de Labrador debido a la invasión de agua procedente de la fusión del oeste de Groenlandia. Pero este efecto es aún pequeño, inferior al que se produce por algún tipo de variabilidad natural de la salinidad, para que esté afectando a la AMOC. Por lo cual tampoco parece que pueda ser la causa de la “burbuja fría”. Para que se produjera un impacto significativo sobre la AMOC se necesitaría una liberación mucho mayor de agua dulce, algo que está relativamente lejos de producirse. Sin embargo, el aumento de flujo de agua dulce debido a la fusión



**Figura 4. Gráfico superior: Variación de la altura de geopotencial en 850 hPa por unidad del índice SAM. Gráfico inferior: regresión de cambios de la temperatura en superficie (°C) en el periodo 1982-2004 correspondientes al cambio en una unidad en el índice SAM. (Fuente: Trenberth, K.E., et al 2007)**

## MIRANDO UN MAPA



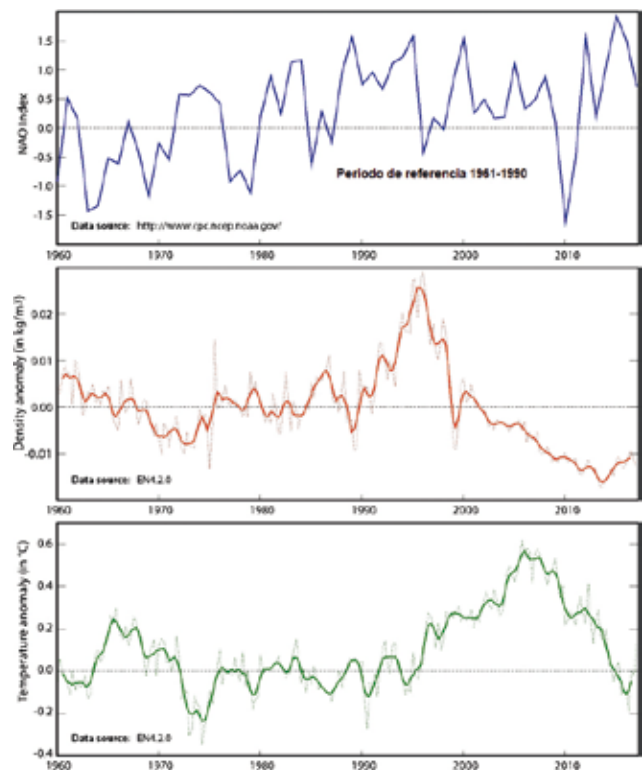
en superficie y a la descarga de los glaciares hacia el océano se supone que jugará un papel cada vez más importante en el futuro y podría llevar a la supresión de la convección profunda oceánica de invierno en el mar de Labrador, con potenciales consecuencias para la intensidad de la AMOC.



**Figura 5.** Circulación oceánica del Atlántico norte. Esta gráfica simplificada muestra en rojo las corrientes en superficie (primeros mil metros), siendo la Corriente del Golfo la mayor contribuyente al flujo de agua cálida hacia el norte, y en azul la Corriente de Aguas Profundas del Atlántico Norte. La AMOC, Circulación Meridional Atlántica, sería el flujo meridional (norte-sur) resultado de promediar zonalmente en la cuenca atlántica, los flujos cálidos superficiales y los flujos fríos del fondo del océano.

En otro tipo de estudios, las simulaciones climáticas transitorias muestran en la misma región una burbuja fría como una anomalía del calentamiento global, asociada a disminuciones a largo plazo en la fuerza de la AMOC (Drijfhout *et al.*, 2012, Rahmstorf *et al.*, 2015). Además, las simulaciones climáticas de control (sin forzamiento antropogénico) a largo plazo, muestran la aparición de enfriamientos similares en esa zona del Atlántico norte de forma natural, debidos a las fluctuaciones decadales internas en el Atlántico norte (Ortega *et al.*, 2016 y Robson *et al.*, 2016). Estos episodios de enfriamiento en esa zona son causados por debilitamientos del transporte de calor por el océano hacia el norte, tras disminuciones en la fuerza de la AMOC. Análogamente, tienden a aparecer episodios de calentamiento en la misma zona en respuesta a las intensificaciones de la AMOC.

Robson *et al.* (2016) identificaron la densidad del agua profunda del Mar de Labrador como un proxy clave de los cambios de la AMOC y lo utilizaron para investigar la cadena de eventos que probablemente condujeron a la formación de la burbuja fría. La secuencia de los hechos habría sido la siguiente (figura 6): durante la década de 1980 y principio de la de 1990, la NAO fue predominantemente positiva. Los flujos fuertes y persistentes de calor sobre la región de Labrador, asociados a la NAO+, incrementaron la formación de agua profunda, lo que llevó a un máximo de intensidad de la AMOC en 1995, induciendo el calentamiento del Atlántico norte subpolar. De 1995 a 2010, la AMOC sufrió un brusco debilitamiento,



**Figura 6.** Evolución de la anomalía de la NAO, densidad del mar de Labrador Sea (promediada entre 1000-2500 m) y la temperatura media del agua en los primeros 700 m en la zona de la burbuja. Las anomalías están referidas al periodo 1961-1990.

to, explicado principalmente por una tendencia concomitante hacia la fase negativa de la NAO. Este debilitamiento de la AMOC revertió el calentamiento de esa zona del Atlántico, y dio lugar al record de anomalía negativo de temperatura observado en 2015 y 2016. Por tanto la evidencia apunta al debilitamiento de la AMOC como responsable de la burbuja fría, y no al derretimiento del manto nivoso de Groenlandia generado por los forzamientos antropogénicos a largo plazo. Sin embargo no se puede descartar una contribución de los forzamientos radiativos externos (antropogénicos o naturales) a los cambios en el Atlántico norte a través, v.g., de una modulación de las fases de la NAO.

### Leer más:

- Bertler, N. A. N., P. J. Barrett, P. A. Mayewski, R. L. Fogt, K. J. Kreutz, y J. Schulmeister, 2004. El Niño suppresses Antarctic warming, *Geophys. Res. Lett.*, 31, L15207, doi
- Boning, C. W., Behrens E., Biastoch A., Getzlaff K. & Bamber J. L., 2016. Emerging impact of Greenland meltwater on deep water formation in the North Atlantic Ocean. *Nat. Geosci.* 9, 523-527 (2016).
- Drijfhout, S., G. J. van Oldenborgh, y A. Cimadoribus, 2012. Is a Decline of AMOC Causing the Warming Hole above the North Atlantic in Observed and Modeled Warming Patterns?, *J Clim* 25, 8373-8379.
- Rahmstorf, S., J. E. Box, G. Feulner, M. E. Mann, A. Robinson, S. Rutherford, y E. J. Schaffernicht, 2015. Exceptional twentieth-century slowdown in Atlantic Ocean overturning circulation, *Nat Clim Chang* 5, 475-480.
- Robson, J., P. Ortega, y R. Sutton, 2016. A reversal of climatic trends in the North Atlantic since 2005, *Nat Geosci* 9, 513-517.
- Trenberth, K.E *et al.*, 2007: Observations: Surface and Atmospheric Climate Change. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.*