

Aquella agua tan fría

JOSÉ PRIETO Y JOSÉ MARÍA SÁNCHEZ-LAULHÉ

Juan Ponce de León, caballero de Valladolid, bautizó la Florida, por donde buscaba la fuente de la juventud.

Fue primero en notar, en 1513, una fuerte corriente, *más fuerte que el viento*, que aceleraba sus desplazamientos al noreste desde Puerto Rico, donde era gobernador. Nadie la hizo mucho caso, pero en 1775 Benjamin Franklin, a instancias de un primo marino mercante, Timothy Folger, trazó la primera carta para navegar sobre la corriente del Golfo.



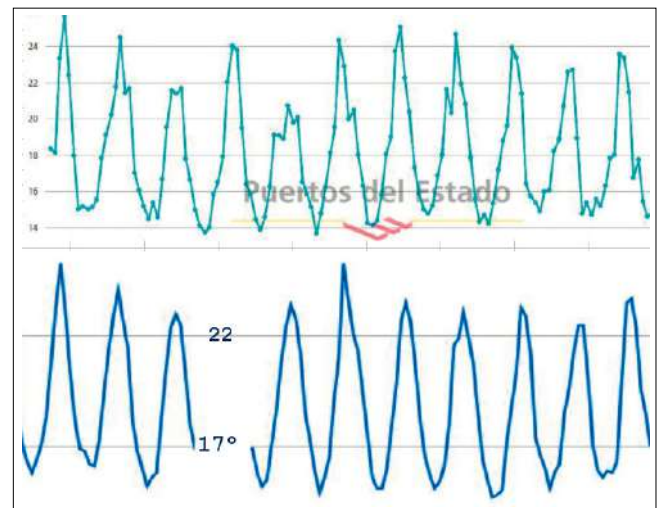
Supuesto su origen en el cálido golfo de México, Franklin se guiaba por las medidas obtenidas con un termómetro de mercurio, protegido en un cubo, que colgaba del barco hasta el agua. La Figura 1 es una copia del resultado de su expedición fechada en 1867, hoy en la Librería del Congreso en Washington.

Los satélites meteorológicos han tomado el relevo en la medida de la temperatura superficial de mares y océanos (SST en siglas inglesas). Basados en las temperaturas radiativas del agua más superficial, la comparación con otras medidas, por ejemplo desde boyas, confirma lo representativo de la medida localizada y a la vez muestra la fidelidad del algoritmo de la SST, como ilustra la Figura 2 sobre la boya de Málaga y Meteosat en el mar de Alborán promediado entre 2010 y 2020. El algoritmo de la SST para satélites polares y Meteosat (Marsouin et al., 2005) se basa en los canales en torno a 10.8 μm y 12.0 μm más las correcciones angular, atmosférica e incluso climática, y es la base de los siguientes análisis.

La temperatura del agua del mar en la mancha fría

En un área amplia al sur de Groenlandia que abarca la región del giro subpolar del Atlántico Norte la SST no está aumentando sino disminuyendo por el cambio climático por

Figura 2. Evolución de la temperatura superficial del agua del mar (SST) media mensual en el periodo 2010-2020; arriba: medida por la boya del puerto de Málaga (Puertos del Estado); abajo: SST media para todo el mar de Alborán obtenida por el satélite Meteosat



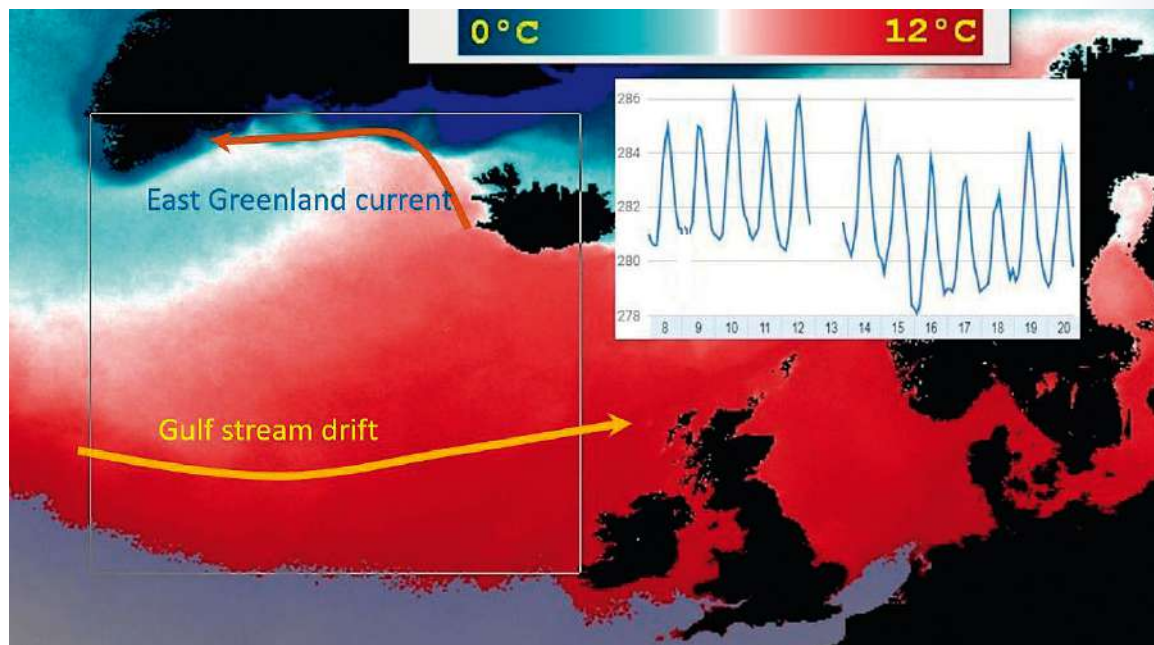


Figura 3. Temperatura media de la superficie del agua del para para el periodo 2008-2020 obtenida por Meteosat

lo que es conocida como *mancha fría* (*cold blob* en su forma inglesa más conocida, encuadre Figura 3), Tanto el enfriamiento subpolar, debido a la reducción del transporte de calor a esta región, como el calentamiento en la región de la Corriente del Golfo en una zona más hacia el oeste, debido a un desplazamiento hacia el norte de la Corriente del Golfo, se consideran señales características de la desaceleración de la Circulación Meridional de Retorno del Atlántico (AMOC por sus siglas inglesas). La AMOC es un sistema de corrientes en el océano Atlántico que transporta agua cálida desde más al sur del trópico de Cáncer hasta Europa. Hay un pronunciado debilitamiento de la AMOC desde mediados de siglo XX, que es muy probable que sea en gran medida de origen antropogénico, dado que es una característica que reproducen los modelos climáticos en respuesta al aumento de los niveles de CO_2 . El debilitamiento estaría causado por una afluencia de agua dulce en el norte del Atlántico por derretimientos en el manto de hielo de Groenlandia y el aumento de las precipitaciones en la región ligados a la Amplificación Ártica¹. Esta agua dulce adicional reduce el hundimiento del agua fría que es el motor de la AMOC.

La disminución de la intensidad de la AMOC y el enfriamiento del giro subpolar no es uniforme a lo largo de los años debido a la variabilidad natural, como se puede observar en las reconstrucciones plasmadas en la Figura 4. Considerando las curvas de los datos suavizados con un filtro de 20 años, se observa que hubo un mínimo de SST en 1990, y un máximo relativo de la AMOC y de SST alrededor del 2000. Posteriormente y hasta el 2018 la AMOC fue debilitándose y las temperaturas del Atlántico subpolar se fueron enfriando, alcanzando en 2015 un record desde 1850 (Figura 4). Los modos dominantes en el Atlántico de variabilidad natural, la NAO (North Atlantic Oscillation) y la AMO (Atlantic Multidecadal Oscillation), tienen un papel relevante en el comportamiento

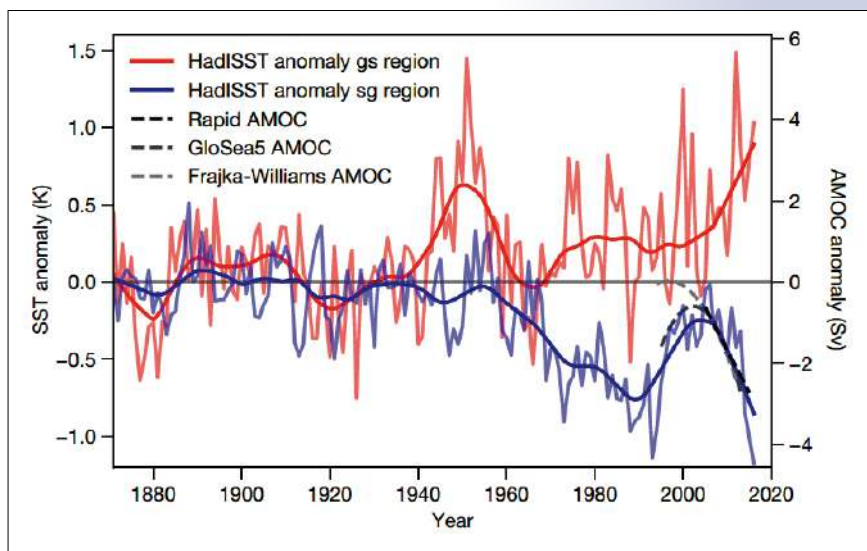


Figura 4. Comparación de series de tiempo de anomalías de la SST y la intensidad de la AMOC en las observaciones. Se muestran series de tiempo de anomalías de SST con respecto a la SST media global en las regiones de giro subpolar (sg) y Corriente del Golfo (gs) (datos HadISST). El gráfico también incluye la tendencia del AMOC obtenida por el proyecto RAPID, por un producto de reanálisis oceánico (GloSea55) y por una reconstrucción a partir de altimetría satelital y mediciones de cables. Se muestran años individuales (noviembre-mayo para las SST) y suavizados (filtrado LOWESS de 20 años para los datos de SST y ajustes cuadráticos / lineales para los datos de la AMOC) (Fuente: Caesar, L. et al., 2018)

de la SST de escala interanual a multidecadal. El primer modo describe la variabilidad atmosférica, mientras que el segundo describe la variabilidad de la SST relativa a la media global (diferencia entre la SST media global en $60^\circ \text{S} - 60^\circ \text{N}$ y la SST media del Atlántico Norte). Tanto la NAO como la AMO muestran correlación con la AMOC a través de sus índices.

El índice AMO (p. ej. Trenberth et al., 2006) disminuyó entre la década de los 50 y la de los 70, y aumentó desde los 70 hasta final de la década del 2000, cuando alcanzó un máxi-

¹ Una señal importante del calentamiento global antropogénico es la subida de las temperaturas en la superficie en el Ártico a un ritmo entre dos y cuatro veces mayor que el del resto del mundo, fenómeno conocido como amplificación ártica, AA.

Aquella agua tan fría

mo, posteriormente descendió ligeramente, mostrando una importante correlación con la curva suavizada de la SST del giro subpolar atlántico (en azul en la Figura 4).

La serie temporal de la SST media mensual obtenida de los datos de Meteosat de los años de 2008 a 2020 (Figura 3), muestra la variabilidad climática a corto plazo, que se manifiesta en una disminución en las temperaturas invernales en el región del giro subpolar a lo largo del periodo, que se puede explicar por la variación de la NAO (Figura 5): la NAO negativa de los inviernos de 2010 y 2011 estuvo asociada a una disminución de los vientos con la consiguiente menor extracción de calor del océano hacia la atmósfera; la NAO po-

intensidad de la AMOC (Caesar et al., 2018). La disminución de la AMOC tras la NAO negativa predominante en 2010-12 y el enfriamiento por la NAO positiva del invierno de 2015 daría como resultado el mínimo histórico de SST de 2015.

La temperatura del agua en el Mediterráneo

Un estudio similar para el Mediterráneo ofrece en contraste una pauta anual más regular y de mayor amplitud térmica entre invierno y verano (Figura 6).

La tendencia de la SST del Mediterráneo muestra un calentamiento continuo desde la década de los 80. La tasa de calentamiento en el periodo 2006-2018

ha sido de 0.04 ± 0.01 °C/año (Pisano et al., 2020). El cambio observado en el mar Mediterráneo desde la década de 1980 afecta no solo a la tendencia media sino también a la amplitud de la señal estacional mediterránea, con un aumento en verano y una disminución en invierno (relativos a los valores anuales) (Pisano et al., 2020): un aumento de la tendencia de la SST en verano (unos 0.056 °C/año), and una disminución relativa en invierno (calentamiento de unos 0.029 °C/año).

La variabilidad natural de la SST en el Mediterráneo ha estado tradicionalmente ligada a los modos principales del Atlántico Norte en invierno. Pero mientras la NAO sigue

afectando al Mediterráneo occidental, disminuyendo la SST en invierno al pasar de la fase negativa a la positiva durante el periodo de estudio (2008-2020) (Figura 6), desde el 2007 la AMO parece haberse desconectado del Mediterráneo (Pisano et al., 2020). La causa de esto último puede encontrarse en parte en el debilitamiento de la AMOC.

En la década del 2000 se han producido cambios importantes en la circulación atmosférica media en el sector Atlántico Norte-Europa en verano, ligados a la AA. Entre estos cambios la tendencia a la formación de una dorsal en verano sobre el continente (Sánchez-Laulhé, 2019) es seguramente relevante para explicar el

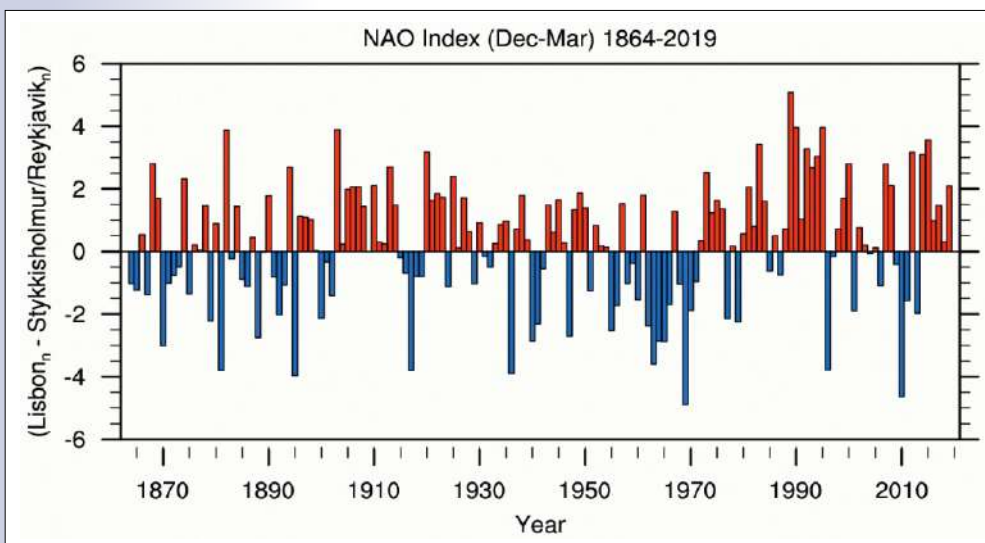
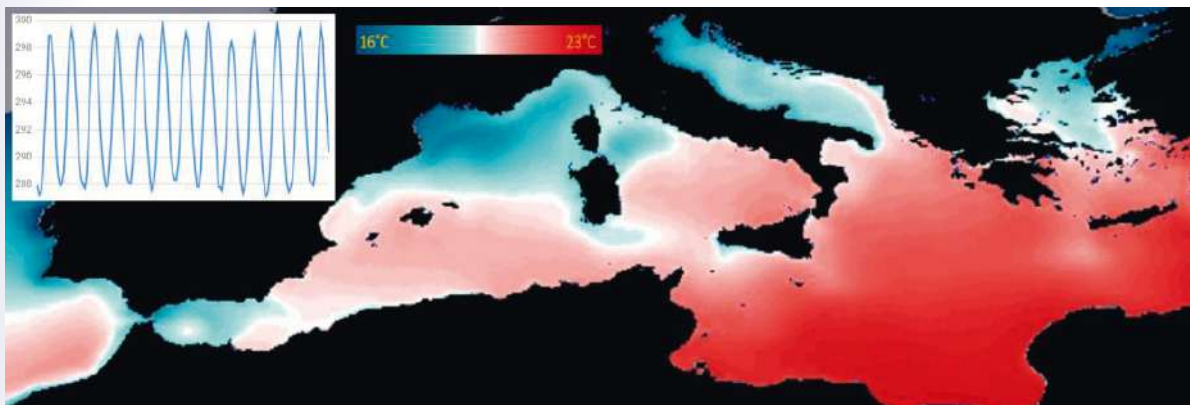


Figura 5. Índice NAO para los meses de invierno (diciembre-marzo)
Fuente: Hurrell, James & National Center for Atmospheric Research Staff (Eds). Last modified 24 Apr 2020.

sitiva de los inviernos de 2014 a 2020 estuvo asociada a una intensificación de los vientos en la región subpolar aumentando el intercambio de calor hacia la atmósfera. Además, la NAO interfiere con la AMOC, pues el enfriamiento de las aguas subpolares por la NAO positiva tiende a reactivar la AMOC y, consecuentemente, acaba aumentando el transporte de agua cálida hacia la región subpolar con cierto desfase (efectos contrarios ocurren con la NAO negativa), generando un patrón ondulatorio, tanto en la temperatura como en la

Figura 6. Temperatura media del Mediterráneo en el periodo 2008-2020 obtenida por Meteosat



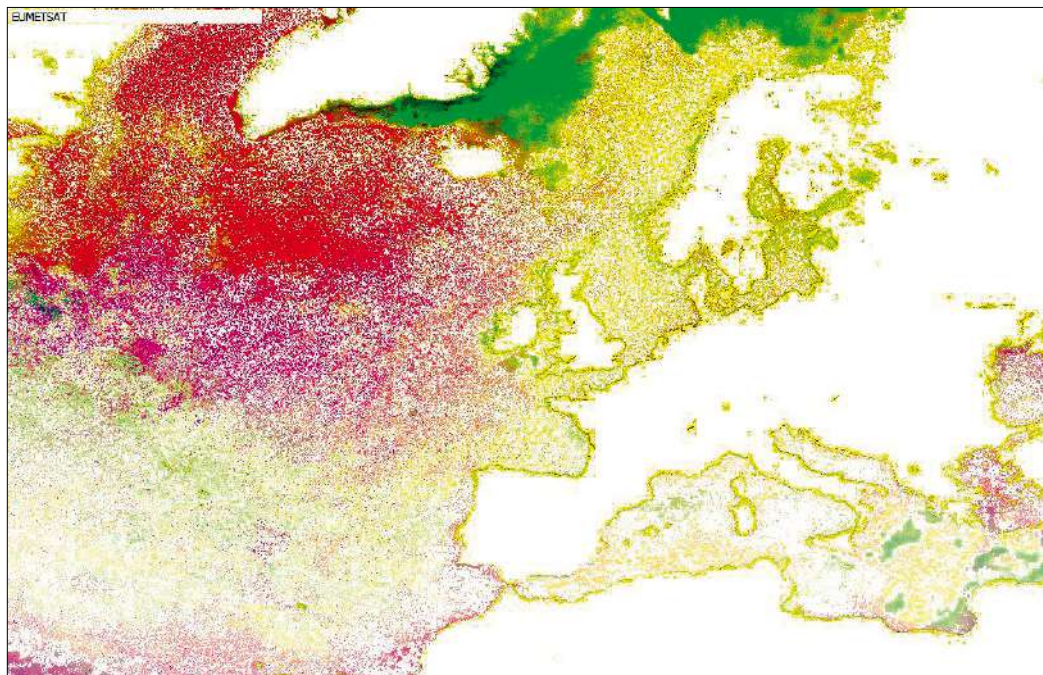


Figura 7. Distribución de las tendencias de las temperaturas. Partiendo los años de la década de 2010 en dos, las zonas en verde indican enfriamiento reciente, en amarillo calentamiento moderado permanente, y en rojo áreas que se enfriaban a principios de la década pero donde ahora asciende la temperatura superficial marina

gran aumento de la SST del Mediterráneo en esta estación durante el verano y la pérdida de correlación entre la AMO y la SST. La tendencia creciente a la formación de una dorsal en la troposfera sobre Europa en verano (Figura 8) se debe a la reacción a las tendencias a la formación de una anomalía ciclónica en el NO de Europa inducida por el *cold blob* y de una vaguada sobre Siberia occidental (Sato y Nakemura, 2019). Dicha dorsal europea habría contribuido a una disminución de los vientos de componente norte particularmente en el Mediterráneo occidental y en consecuencia al aumento de la SST.

La tendencia a la formación en verano de una dorsal sobre el continente europeo y bajas presiones sobre el NO del mismo, ha aumentado la frecuencia de flujo de aire cálido hacia el norte de Europa, y disminuido consecuentemente la frecuencia de aparición de flujo procedente del norte sobre el Mediterráneo occidental. Esto explica las zonas amarillas de calentamiento moderado permanente de la superficie del mar en la Figura 7, afectando al Atlántico Norte libre de hielo, al este de Gran Bretaña, y al Mediterráneo occidental y central.

El clima frío en el Atlántico subpolar está correlacionado con las altas temperaturas de verano en Europa; la ola de calor europea de 2015 se ha relacionado con el récord de SST fría en la mancha fría de ese año (Duchez et al., 2016)

Referencias

- Caesar, L. et al. (2018) Observed fingerprint of a weakening Atlantic Ocean overturning circulation, *Nature*, doi:10.1038/s41586-018-0006-5
- Duchez, A. et al. (2016) Drivers of exceptionally cold North Atlantic Ocean temperatures and their link to the 2015 European heat wave. *Environ. Res. Lett.* 11, 074004 (2016).
- Marsouin A. et al. (2005) Six years of OSI-SAF METOP-A AVHRR sea surface temperatura. *Remote Sensing of Environment*. https://www-cdn.eumetsat.int/files/2020-04/pdf_conf_p_s6_05_marsouin_v.pdf

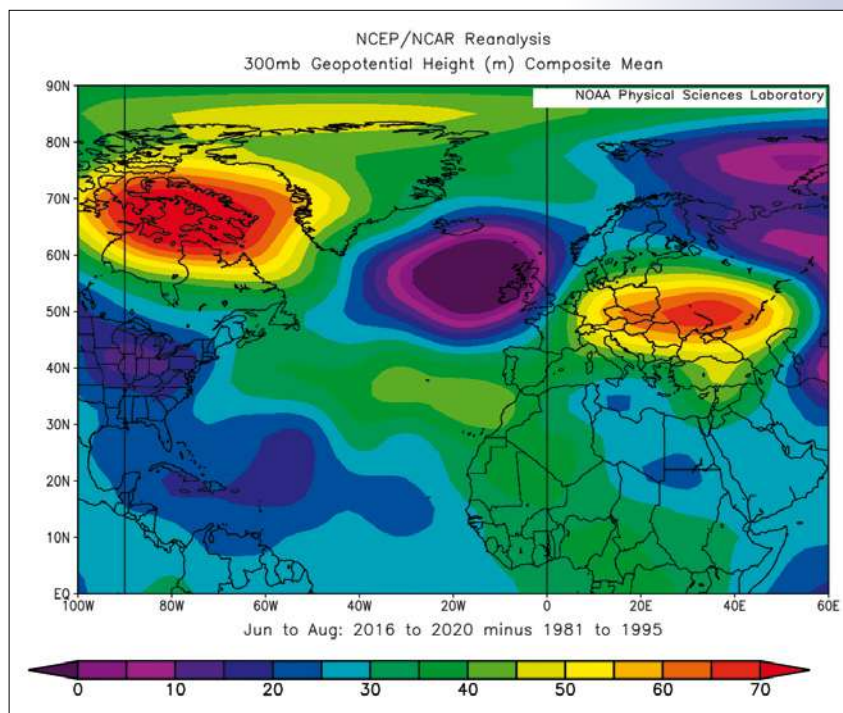


Figura 8. Tendencia de la altura de geopotencial de 300 hPa en los meses de verano entre los periodos 1981-1995 y 2016-2020. Fuente NOAA

- Pisano et al. (2020) New Evidence of Mediterranean Climate Change and Variability from Sea Surface Temperature Observations, *Remote Sens.*, 12(1), 132. <https://www.mdpi.com/2072-4292/12/1/132>
- Sánchez-Laulhé J.M. (2019) La amplificación ártica y el verano 2019. *Tiempo y Clima* 5 66 <https://pub.ame-web.org/index.php/TyC/article/view/1911/2142>
- Sato T, Nakamura T (2019). Intensification of hot Eurasian summers by climate change and land-atmosphere interactions. *Scientific Reports* 10866 9 1
- Trenberth K.E., Shea D.J. (2006) Atlantic hurricanes and natural variability in 2005. *Geophys. Res. Lett.* 33, doi:10.1029/2006GL026894.