

# ¿CUÁNTO SE ESTÁ CALENTANDO EL MEDITERRÁNEO?

Treinta y cinco años de observaciones desde satélite

MARÍA JOSÉ LÓPEZ GARCÍA

El calentamiento global del planeta afecta especialmente a océanos y mares. En el mar Mediterráneo, los registros oceanográficos y meteorológicos tomados *in situ* junto con las observaciones más recientes desde satélite evidencian un calentamiento global estimado entre 0,6 y 1 °C durante las tres últimas décadas. En este artículo presentamos los resultados del análisis de una serie de 35 años de imágenes térmicas mensuales en las cuencas occidentales del Mediterráneo. Los datos indican un adelanto e intensificación de la estación estival: los veranos son más largos e intensos y los meses de junio y julio registran las mayores tasas de calentamiento, con incrementos de 0,6 °C/década.

Palabras clave: Mediterráneo, calentamiento global, cambio climático, geografía física, teledetección.

## ■ EL MEDITERRÁNEO, UN «OCÉANO EN MINIATURA»

El Mediterráneo, un mar semicerrado enmarcado por tres continentes, constituye un escenario singular. Ocupa solamente el 0,7 % de la superficie oceánica mundial y el 0,3 % del volumen de agua, pero ha sido considerado por muchos autores como un «océano en miniatura», un laboratorio perfecto para estudiar patrones climáticos e hidrológicos (Bethoux et al., 1999), ya que gran parte de los fenómenos observados en los océanos se producen también en el Mediterráneo. La configuración de su cuenca, con grandes contrastes topográficos, y su posición intermedia entre climas templados y subtropicales hacen de este mar un espacio especialmente sensible, por lo que ha sido identificado como uno de los puntos calientes (*hotspot*) del cambio climático.

El Mediterráneo se define como una «cuenca de concentración» donde las pérdidas hídricas por evaporación (*outputs*) superan las ganancias (*inputs*) procedentes de la precipitación y los aportes fluviales. Este déficit se compensa por el intercambio de aguas marinas de diferente salinidad con el océano Atlántico, a través del

estrecho de Gibraltar y, en menor medida, con el mar Negro a través del Bósforo. Por Gibraltar se produce una entrada en superficie de agua atlántica de menor densidad que progresa hacia la cuenca oriental y que va modificando sus características en su trayectoria; en profundidad, se produce la salida de agua mediterránea más densa procedente de la parte oriental de la cuenca.

La circulación general, descrita desde los inicios del siglo xx, reviste un carácter termohalino,<sup>1</sup> esto es, se origina por las diferencias de densidad entre las distintas masas de agua. Se estructura en tres capas (superficial, intermedia y profunda) y muestra un patrón ciclónico en torno a las subcuencas occidental y oriental (Figura 1). El Mediterráneo es

también uno de los pocos lugares en latitudes medias donde se produce la formación de agua profunda, un proceso fundamental de oxigenación de las capas profundas que tiene lugar en invierno en el golfo de León y en el norte del Adriático. En décadas recientes, el esquema de circulación general inicialmente descrito ha

**«El mar Mediterráneo es un espacio especialmente sensible, por lo que ha sido identificado como uno de los puntos calientes del cambio climático»**

<sup>1</sup> El término *termohalino* hace referencia a las características de temperatura y salinidad de las masas de agua que determinan su densidad.

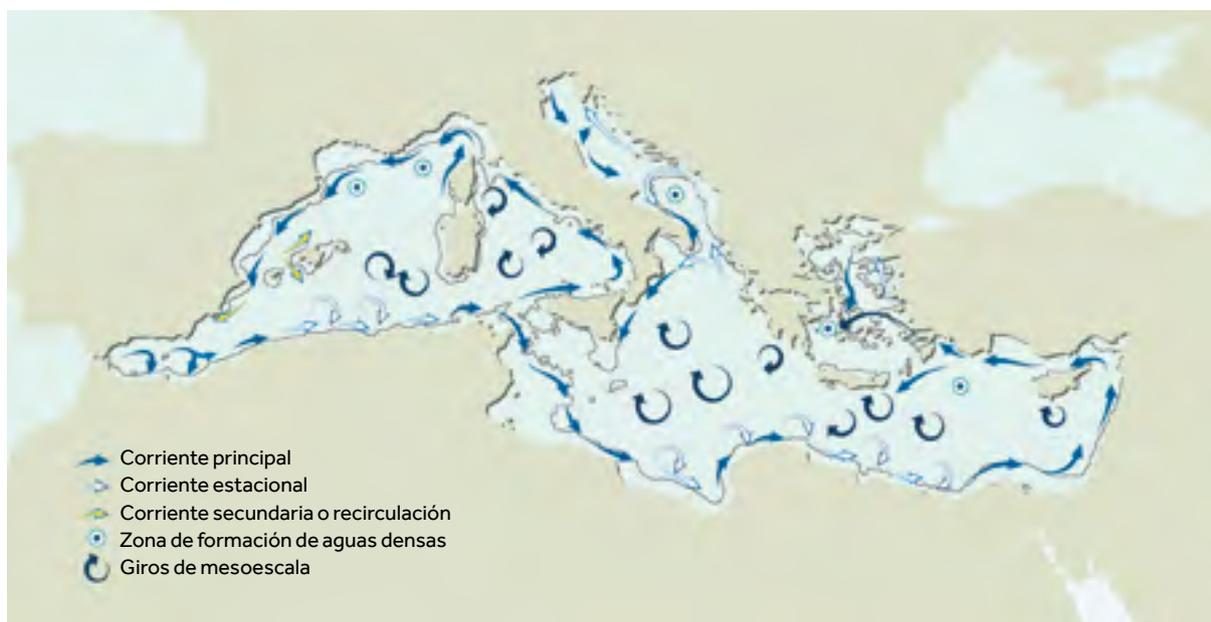


Figura 1. Esquema de la circulación superficial en el Mediterráneo (según Millot y Taupier-Letage, 2005). La circulación general del Mediterráneo se origina por las diferencias de densidad entre las distintas masas de agua. Se estructura en tres capas (superficial, intermedia y profunda) y muestra un patrón ciclónico en torno a las subcuencas occidental y oriental.

FUENTE: UN Environmental Programme. GRID-Arendal. <https://www.grida.no/resources/5915>

sido revisado y se han incorporado rasgos de la circulación de mesoescala y elementos de variabilidad interanual a la luz de observaciones y mediciones cada vez más extensas (Bergamasco y Malanotte-Rizzoli, 2010; Millot y Taupier-Letage, 2005).

En el balance hidrológico de la cuenca, los aportes fluviales constituyen un factor relevante. Solamente seis cuencas hidrográficas superan una extensión de 50.000 km<sup>2</sup> (las del Nilo, el Ródano, el Ebro, el Po, el Moulouya y el Evros) y otras quince los 10.000 km<sup>2</sup>; el resto son pequeñas y medianas con un régimen efímero y torrencial. Este carácter torrencial de los ríos, y el clima mediterráneo caracterizado por episodios de lluvia de gran intensidad, producen con frecuencia crecidas e inundaciones de gran impacto para las sociedades humanas. En las últimas décadas, se ha constatado una disminución de los aportes fluviales a la cuenca debido a causas climáticas, pero fundamentalmente antrópicas, por la construcción de embalses y el incremento del consumo agrícola. La disminución en los aportes fluviales se apunta como uno de los factores, entre otros, que explicaría el incremento reciente de salinidad en las aguas profundas (García-Martínez, Vargas-Yáñez, Moya, Zunino y Bautista, 2018).

### «Los principales problemas medioambientales que identificamos en el Mediterráneo guardan relación con la climatología y la hidrología de la cuenca»

Los principales problemas medioambientales que identificamos en la cuenca mediterránea guardan relación directa o indirecta con la climatología y la hidrología de la propia cuenca: la escasez de recursos hídricos, la frecuencia de inundaciones por la intensificación de precipitaciones extremas, los procesos de erosión y degradación costera, la contaminación de las aguas por vertidos urbanos e industriales y los incendios forestales. La presión humana en las riberas del mediterráneo –intensificada en décadas recientes– se ha producido sin tener en cuenta que el mar Mediterráneo es un sistema ambiental donde interactúan múltiples factores; cualquier alteración conlleva impactos en el funcionamiento global cuyas consecuencias estamos lejos de evaluar.

#### ■ CALENTAMIENTO RECIENTE DE OCÉANOS Y MARES

En la actualidad, existe acuerdo en la comunidad científica acerca del calentamiento del planeta atribuido al incremento del CO<sub>2</sub> atmosférico, especialmente evidente en las cuatro últimas décadas. El *Quinto informe de evaluación* (AR5) del Grupo Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC, en sus siglas en inglés) señala

un calentamiento global de 0,85 °C en el periodo 1889-2012 (IPCC, 2013). A escala planetaria, se ha estimado que entre 1970 y 2010 los océanos han acumulado más del 90 % del incremento de energía en el sistema climático. El calentamiento global es manifiesto en la capa superficial hasta 75 m, donde se ha calculado una tasa promedio de incremento térmico de 0,11 °C/década.

No es fácil identificar tendencias temporales en los ecosistemas marinos para evaluar el impacto que los cambios ambientales, incluido el cambio climático, están teniendo sobre ellos. La escasez de registros *in situ* para series temporales largas procedentes de estaciones marinas y campañas oceanográficas, así como las diferencias en la instrumentación y la metodología empleada en la toma de datos, dificultan los análisis retrospectivos. Las tasas calculadas varían dependiendo de la escala espacial (global, regional o local), de la zona analizada y del período de tiempo referido.

Diversos autores, a partir de las bases de datos de temperatura superficial del mar (SST por las siglas en inglés de *sea surface temperature*) recopilados en el Centro Hadley de la Oficina Meteorológica del Reino Unido, identifican un período de descenso de temperatura entre 1948 y 1970 seguido de un periodo de calentamiento acelerado desde entonces (Belkin, 2009; Trenberth et al., 2007). Según estos autores, en el período de 1982 a 2006 la temperatura superficial en el Mediterráneo se incrementó 0,71 °C, lo que convierte a este mar en una de las áreas del planeta (junto con el mar Báltico, mar del Norte, mar del Japón y mar de la China) catalogada de «calentamiento rápido», con tasas que multiplican por 2-4 la media global.

Los recientes informes del Servicio de Vigilancia Medioambiental Marina Copernicus (CMEMS, en sus siglas en inglés), a partir de las observaciones (*in situ* y de satélite) disponibles (Von Schuckmann et al., 2018), señalan un calentamiento global en los océanos desde 1993 de 0,016 °C/año, con cifras muy superiores en el caso del Mediterráneo (0,04 °C/año).

En el Mediterráneo peninsular tampoco hay duda del incremento de temperatura y salinidad tanto en las capas superficiales como las intermedias y profundas. El último informe *Cambio climático en el Mediterráneo español* (Vargas-Yáñez et al., 2010) indica un aumento medio de la temperatura superficial del mar para el período 1948-2005, que varía entre 0 y 0,5 °C según la zona del litoral mediterráneo; en profundidades intermedias (200-600 m) el aumento se cifra entre 0,05 y 0,2 °C y en las capas profundas, entre 0,03 y 0,1 °C. Si bien el incremento en las

**«La presión humana en el Mediterráneo se ha producido sin tener en cuenta que el mar es un sistema ambiental donde interactúan múltiples factores»**

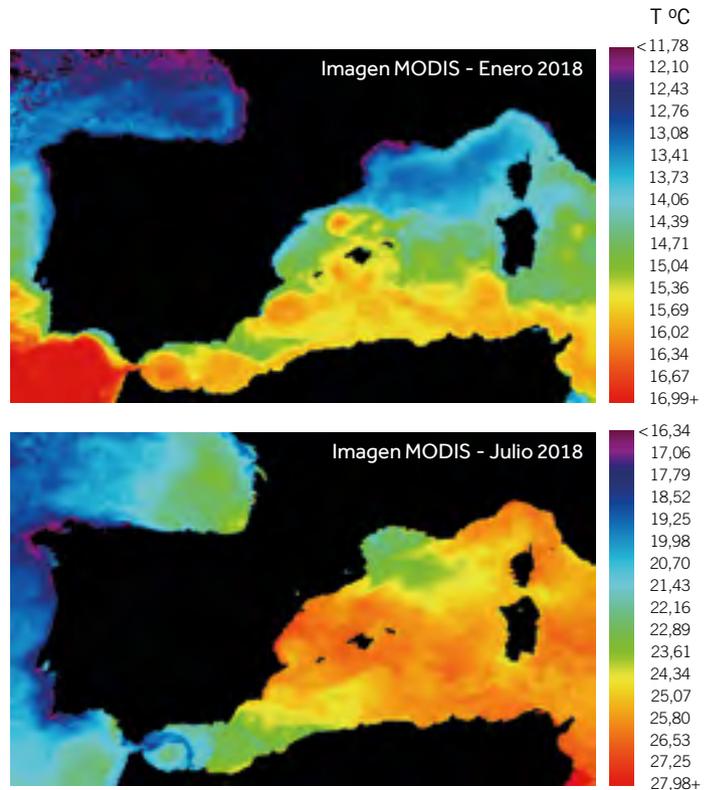


Figura 2. Ejemplo de imagen típica invernal (enero de 2018) y estival (julio de 2018) de la temperatura de las aguas del Mediterráneo. En invierno, se observa un gradiente latitudinal norte-sur (~4 °C) entre las aguas más frías en la cuenca septentrional y más cálidas en la de Alborán. En verano, la variabilidad espacial de la temperatura es mayor (~9 °C) y se registra un elevado calentamiento en las cuencas centrales. La imagen muestra la zona de estudio analizada.

FUENTE: Imágenes procedentes de NASA EOSDIS PO.DAAC (<http://podaac.jpl.nasa.gov/>) procesadas por la autora.

capas profundas pudiera parecer menor, dado el alto calor específico del mar, incrementos pequeños implican que el mar ha absorbido enormes cantidades de calor. Este calentamiento se aprecia especialmente a partir de la década de los setenta.

Los registros sistemáticos de observación marítima en el Mediterráneo peninsular se implantaron, en su mayor parte, a partir de la década de los noventa, con la excepción de la estación oceanográfica de L’Estartit. Esta estación –situada en la plataforma continental catalana a 4 km de la costa– comprende la serie oceanográfica ininterrumpida más larga del Mediterráneo, ya que registra datos desde la década de los setenta. A partir de estas observaciones, Salat, Pascual, Flexas, Chin y Vazquez-Cuervo (2019) señalan una tasa de calentamiento de 0,03 °C/año en las capas superficiales, con valores superiores (0,09 °C/año)



Figura 3. Evolución de la temperatura superficial del mar en las cuencas ligo-provenzal, balear, argelina y de Alborán para el periodo 1985-2019 a partir de imágenes térmicas de los satélites NOAA y MODIS. La tasa de calentamiento promedio obtenida es de 0,03 °C/año.

registrados en la última década. Los mismos autores también identifican variaciones estacionales, con tasas más elevadas en la primavera (0,039 °C/año).

### ■ ¿QUÉ NOS DICEN LOS SATÉLITES DE OBSERVACIÓN SOBRE EL MEDITERRÁNEO?

A partir de los años ochenta, las imágenes térmicas obtenidas por el sensor Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR) a bordo de los satélites NOAA proporcionaron una visión sinóptica y continua que complementa los registros *in situ*. La radiación que registran los sensores se considera representativa de la temperatura superficial del mar, un parámetro clave en los estudios climáticos. Con el tiempo, se han sumado otros sensores como el Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) que permiten derivar la temperatura superficial del mar y otros parámetros oceanográficos con precisión.

En los inicios de la teledetección espacial en España, la tesis doctoral *La temperatura del mar Balear a partir de imágenes de satélite* (López García, 1991), producto de la colaboración entre el Departamento de Geografía y la Unidad de Teledetección del Departamento de Termodinámica de la Universitat de València, mostró el potencial de las imágenes térmicas para el conocimiento de la hidrología del Mediterráneo y marcó el inicio de la investigación que aquí se presenta. Treinta años más tarde —comprobada ampliamente la viabilidad de las imágenes— la disponibilidad de series de imágenes de calidad y longitud suficiente y la posibilidad de contrastar los resultados con los datos obtenidos por otros autores, nos han permitido confirmar las tendencias señaladas en anteriores publicaciones (López García, 2015; López García y Camarasa, 2011). A continuación, se presenta una síntesis actualizada de estas investigaciones.

Diversos estudios (López García y Camarasa, 2011; Mohamed, Abdallah, El-Din, Nagy y Shaltout, 2019; Nykjaer, 2009; Shaltout y Omstedt, 2014; Skliris et al., 2012) basados en datos de satélite apuntan tasas de ca-

lentamiento del Mediterráneo que oscilan entre 0,015 y 0,04 °C/año dependiendo de la región y período de tiempo considerados. Los valores más altos (0,05 °C/año) se identifican en el Mediterráneo oriental. Sintetizando, puede afirmarse que, en las tres últimas décadas, el Mar Mediterráneo ha experimentado un aumento de la temperatura superficial global estimado entre 0,6-1 °C. Algunas predicciones en base a estos datos, y teniendo en cuenta las tendencias de los últimos años, alertan de un incremento que podría llegar hasta los 5,8 °C para 2100 (Sakalli, 2017).

Nuestro análisis, centrado en las cuencas ligo-provenzal, balear, argelina y de Alborán del Mediterráneo occidental, abarca la serie de imágenes térmicas mensuales disponible desde enero de 1985 actualizada hasta octubre de 2019.<sup>2</sup>

La curva estacional promedio obtenida para la serie analizada y en el conjunto de la zona señala el mínimo mensual en febrero (14 °C) y el máximo en agosto (25 °C). No obstante, algunos años (agosto de 2003, septiembre de 2009 y agosto de 2018) se han registrado valores mensuales superiores a 28 °C en algunos puntos de la cuenca. La Figura 2 presenta, a modo de ejemplo, la variabilidad espacial de la temperatura en invierno y en verano en las distintas subcuencas. La situación típica invernal muestra un claro gradiente latitudinal con aguas más frías en la cuenca ligo-provenzal y más cálidas en la de Alborán. La situación estival se caracteriza por el calentamiento de las cuencas centrales (balear y argelina) mientras que las aguas de influencia atlántica en Alborán son siempre comparativamente más frías.

<sup>2</sup> Para el periodo 1985-2009 se utilizaron las imágenes del satélite NOAA-AVHRR procedentes del archivo Pathfinder del Physical Oceanography Distributed Active Archive Center (PO.DAAC) v.5 y para el período 2000-2019, las imágenes del sensor MODIS-Terra Level 3 v2014. En ambos casos, se analizaron imágenes nocturnas, con resolución espacial de 4 km, corregidas mediante los algoritmos testados y validados por la NASA. Los datos están disponibles *online* en el Jet Propulsion Laboratory (NASA) (<http://podaac.jpl.nasa.gov/>). La disponibilidad de datos para el período 2000-2009 procedentes de ambas fuentes y su elevada correlación ( $r^2=0,99$ ) permitió la homogeneización de la serie (López García, 2020).



El calentamiento reciente del Mediterráneo resulta evidente al observar la curva de evolución obtenida para el período 1985-2019 (Figura 3). El gráfico representa la temperatura promedio calculada para todas las cuencas en cada mes. Se ha aplicado una media móvil de 12 para filtrar el efecto estacional. La tasa de variación resultante para el conjunto de las cuencas es de  $0,03\text{ }^{\circ}\text{C/año}$ , lo que supone un incremento total de la temperatura de aproximadamente  $1\text{ }^{\circ}\text{C}$  en las décadas analizadas.

### ■ VERANOS MÁS LARGOS Y CÁLIDOS

El cálculo de las tasas de calentamiento por meses evidenció diferencias estacionales que oscilan entre valores mínimos en invierno ( $\sim 0,01\text{ }^{\circ}\text{C/año}$  en febrero y marzo) y máximos en primavera-verano ( $\sim 0,06\text{ }^{\circ}\text{C/año}$  en junio y julio) (Figura 4). Estos datos confirman los resultados ya publicados (López García, 2015) que indicaban que el calentamiento en el Mediterráneo se produce fundamentalmente durante los meses de primavera-verano, lo que implica cambios en la curva estacional. Si el calentamiento del mar en los últimos 35 años se estima aproximadamente en  $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ , lo cierto es que este incremento se ha producido fundamentalmente en los meses junio y julio cuando la temperatura ha aumentado casi  $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Las variaciones en la curva estacional se pueden observar más claramente en la Figura 5 donde se han representado las curvas estacionales promedio calculadas para los períodos 1985-1999 y 2000-2019, junto con los incrementos de temperatura mensuales entre ambos periodos en valores absolutos. En la década inicial (1985-1999) solamente se superaron los  $24\text{ }^{\circ}\text{C}$  de media en el mes de agosto, mientras que en las décadas recientes (2000-2019) se superaron los  $24\text{ }^{\circ}\text{C}$  promedio en tres meses (julio, agosto y septiembre), y se registra

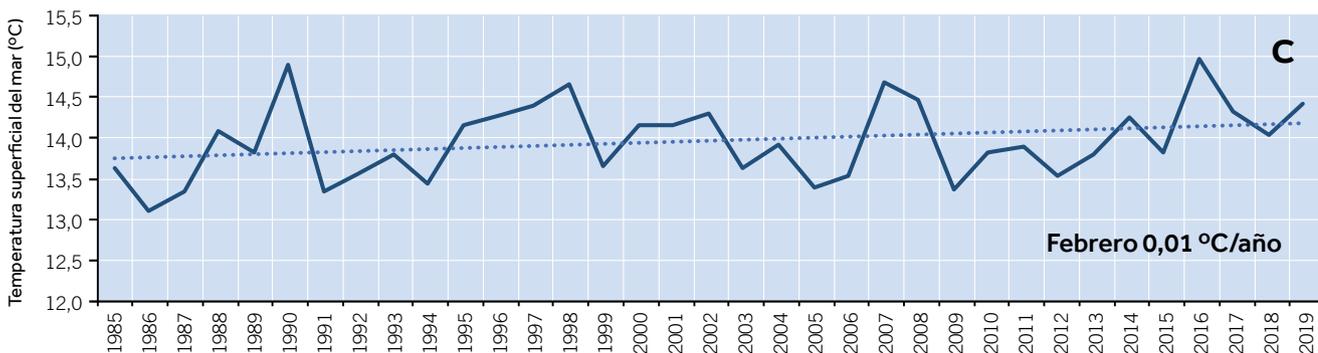
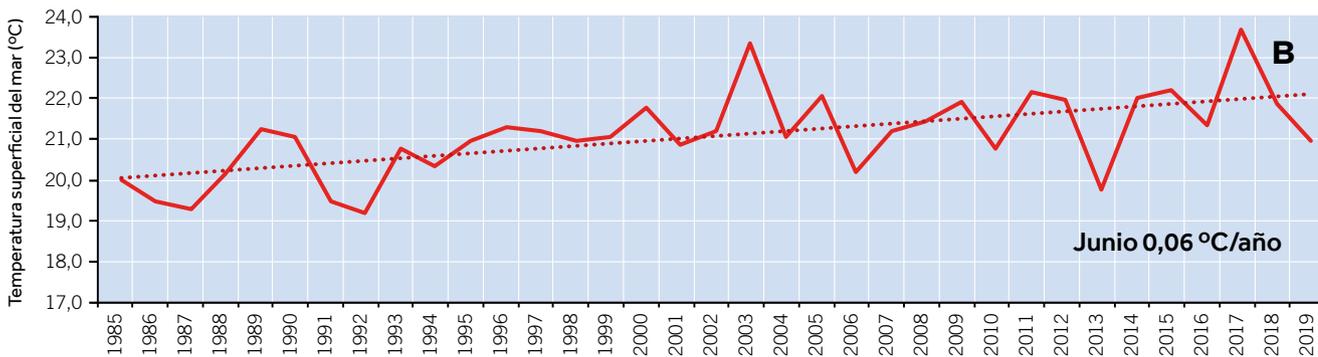
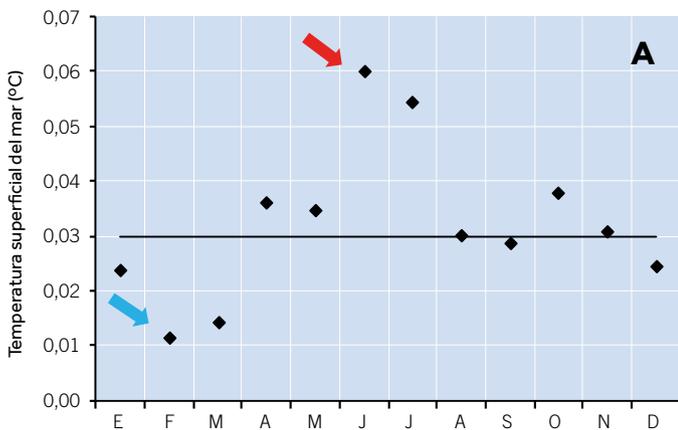


Figura 4. El gráfico **A** representa las tasas de variación ( $^{\circ}\text{C/año}$ ) de la temperatura superficial del mar (o SST por sus siglas en inglés) calculadas según los meses. Los valores más bajos se producen en invierno (febrero y marzo) y los máximos en primavera-verano (junio y julio). La línea horizontal señala la tasa promedio anual ( $0,03\text{ }^{\circ}\text{C/año}$ ). Todas las tendencias son significativas (los valores de  $p$  oscilan entre  $<0,0001$  y  $0,034$ ) a excepción del mes de febrero, que no fue estadísticamente significativo. Los gráficos **B** y **C** representan los ajustes temporales para los meses de junio y febrero.

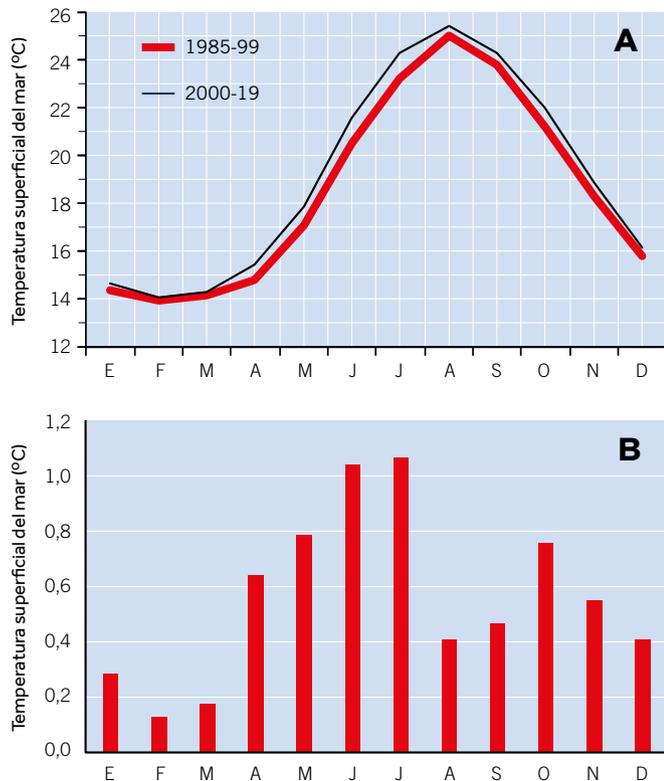


Figura 5. **A)** Curvas estacionales promedio de la temperatura superficial del mar Mediterráneo para los periodos 1985-1999 y 2000-2019. **B)** Incremento de temperatura por meses entre ambos periodos. Los cambios en la curva estacional evidencian el adelanto y prolongación del verano, con incrementos de temperatura de 1 °C en verano y de 0,5 °C en otoño entre ambos periodos.

ron medias mensuales próximas a 27 °C en agosto de 2003 y 2018. Estos resultados evidencian el adelanto de la estación estival y también su intensificación, con incrementos de temperatura en las dos últimas décadas en primavera-verano (~1 °C) y en otoño (~0,7 °C).

## ■ CONCLUSIÓN

El análisis realizado en las cuencas occidentales del Mediterráneo constata un rápido calentamiento en las tres últimas décadas, con una tasa promedio de 0,03 °C/año que alcanza valores superiores según la región del Mediterráneo analizada. Estas cifras concuerdan con las publicadas recientemente por otros autores y confirman las tendencias apuntadas en estudios previos referidos al periodo 1985-2009 (López García, 2015). El calentamiento en el Mediterráneo peninsular se está produciendo fundamentalmente en los meses de primavera-verano y otoño, y se aprecia una tendencia clara al adelanto, prolongación e intensificación del verano.

Las consecuencias del calentamiento del Mediterráneo (Figura 6) en aspectos como la subida del nivel del

mar, la posible alteración de los patrones de circulación marina, la abundancia, distribución y estructura de especies marinas o la frecuencia e intensificación de procesos atmosféricos como las DANA (Depresiones Aisladas en Niveles Altos) son objeto de interés e investigación por parte de la comunidad científica, como ha puesto de manifiesto el informe especial del IPCC titulado *El océano y la criosfera en un clima cambiante* (25 septiembre 2019). Si bien la causalidad y atribución de estas consecuencias al cambio climático sigue siendo difícil de discernir, existe un creciente consenso en que el calentamiento no es una proyección de futuro sino una realidad evidente.

Procede la reflexión acerca del papel del ser humano como principal agente inductor de este calentamiento, pero también de su responsabilidad en los múltiples procesos que han alterado las riberas del Mediterráneo y el propio mar: la urbanización desmesurada del litoral y la alteración de los ecosistemas naturales litorales, la intensificación agraria y sobreexplotación de acuíferos, la contaminación fluvial y marina, y la sobreexplotación pesquera, entre otras actuaciones, afectan y aceleran los



Figura 6. Las consecuencias del calentamiento del Mediterráneo en aspectos como la intensificación de procesos atmosféricos como las DANA (Depresiones Aisladas en Niveles Altos) son objeto de interés e investigación por parte de la comunidad científica. En la imagen, consecuencias en Barcelona del temporal Gloria, que afectó la costa mediterránea a principios de 2020.



impactos que no deben ser atribuidos solamente al calentamiento del mar. Es necesaria una toma de conciencia clara y la implementación de actuaciones inmediatas que permitan frenar y mitigar los problemas ambientales a los que nos enfrentamos. 

#### REFERENCIAS

- Belkin, I. (2009). Rapid warming of large marine ecosystems. *Progress in Oceanography*, 81(1-4), 207–213. doi: [10.1016/j.pocean.2009.04.011](https://doi.org/10.1016/j.pocean.2009.04.011)
- Bergamasco, A., & Malanotte-Rizzoli, P. (2010). The circulation of the Mediterranean Sea: A historical review of experimental investigations. *Advances in Oceanography and Limnology*, 1(1), 11–28. doi: [10.1080/19475721.2010.491656](https://doi.org/10.1080/19475721.2010.491656)
- Bethoux, J. P., Gentili, B., Morin, P., Nicolas, E., Pierre, C., & Ruiz-Pino, D. (1999). The Mediterranean Sea: A miniature ocean for climatic and environmental studies and a key for the climatic functioning of the North Atlantic. *Progress in Oceanography*, 44(1-3), 131–146. doi: [10.1016/S0079-6611\(99\)00023-3](https://doi.org/10.1016/S0079-6611(99)00023-3)
- García-Martínez, M. C., Vargas-Yáñez, M., Moya, F., Zunino, P., & Bautista, B. (2018). The effects of climate change and rivers damming in the Mediterranean Sea during the twentieth century. *International Journal of Environmental Sciences & Natural Resources*, 8(4), 555741. doi: [10.19080/IJESNR.2018.08.555741](https://doi.org/10.19080/IJESNR.2018.08.555741)
- IPCC. (2013). *Climate change 2013: The physical science basis. Contribution of working group I to the Fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change*. Cambridge, UK / Nueva York, NY, EEUU: Cambridge University Press.
- López García, M. J. (1991). *La temperatura superficial del mar Balear a partir de imágenes de satélite* (tesis doctoral). Universitat de València, España.
- López García, M. J. (2015). Recent warming in the Balearic Sea and Spanish Mediterranean coast. Towards an earlier and longer summer. *Atmósfera*, 28(3), 149–160. doi: [10.20937/ATM.2015.28.03.01](https://doi.org/10.20937/ATM.2015.28.03.01)
- López García, M. J. (2020). SST Comparison of AVHRR and MODIS Time Series in the Western Mediterranean Sea. *Remote Sensing*, 12(14), 2241. doi: [10.3390/rs12142241](https://doi.org/10.3390/rs12142241)
- López García, M. J., & Camarasa, A. M. (2011). Recent trends of SST in the Western Mediterranean basins from AVHRR Pathfinder data (1985–2007). *Global Planetary Change*, 78(3-4), 127–136. doi: [10.1016/j.gloplacha.2011.06.001](https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2011.06.001)
- Millot, C., & Taupier-Letage, I. (2005). Circulation in the Mediterranean Sea. En A. Salot (Ed.), *The Mediterranean Sea. Handbook of environmental chemistry* (vol. 5K, pp. 29–66). Berlín, Heidelberg: Springer. doi: [10.1007/b107143](https://doi.org/10.1007/b107143)
- Mohamed, B., Abdallah, A. M., El-Din, K. A., Nagy, H., & Shaltout, M. (2019). Inter-annual variability and trends of sea level and sea surface temperature in the Mediterranean Sea over the last 25 years. *Pure Applied Geophysics*, 176(8), 3787–3810. doi: [10.1007/s00024-019-02223-2](https://doi.org/10.1007/s00024-019-02223-2)
- Nykjaer, L. (2009). Mediterranean Sea surface warming 1985–2006. *Climate Research*, 39, 11–17. doi: [10.3354/cr00794](https://doi.org/10.3354/cr00794)
- Sakalli, A. (2017). Sea surface temperature change in the Mediterranean Sea under climate change: A linear model for simulation of the sea surface temperature up to 2100. *Applied Ecology and Environmental Research*, 15(1), 707–716. doi: [10.15666/aeer/1501\\_707716](https://doi.org/10.15666/aeer/1501_707716)
- Salat, J., Pascual, J., Flexas, M., Chin, T. M., & Vazquez-Cuervo, J. (2019). Forty-five years of oceanographic and meteorological observations at a coastal station in the NW Mediterranean: A ground truth for satellite observations. *Ocean Dynamics*, 69, 1067–1084. doi: [10.1007/s10236-019-01285-z](https://doi.org/10.1007/s10236-019-01285-z)
- Shaltout, M., & Omstedt, A. (2014). Recent sea surface temperature trends and future scenarios for the Mediterranean Sea. *Oceanologica*, 56(3), 411–443. doi: [10.5697/oc.56-3.411](https://doi.org/10.5697/oc.56-3.411)
- Skliiris, N., Sofianos, S., Gkanasos, A., Mantziafou, A., Vervatis, V., Axaopoulos, P., & Lascaratos, A. (2012). Decadal scale variability of sea surface temperature in the Mediterranean Sea in relation to atmospheric variability. *Ocean Dynamics*, 62, 13–20. doi: [10.1007/s10236-011-0493-5](https://doi.org/10.1007/s10236-011-0493-5)
- Trenberth, K. E., Jones, P. D., Ambenje, P., Bojariu, R., Easterling, D., Tank, K., ... Zhai, P. (2007). Observations: Surface and Atmospheric Climate Change. En S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, ... H. L. Miller (Eds.), *Climate change 2007: The physical science basis* (pp. 235–336). Cambridge, Reino Unido y Nueva York: Cambridge University Press.
- Vargas-Yáñez, M., García, M. C., Moya, F., Tel, E., Parrilla, G., Plaza, F., ... García, M. J. (2010). *Cambio climático en el Mediterráneo español*. Temas de Oceanografía, 3 (2ª ed.). Madrid: Instituto Español de Oceanografía y Ministerio de Ciencia e Innovación.
- Von Schuckmann, K., Le Traon, P. Y., Smith, N., Pascual, A., Brasseur, P., Fennel, K., & Djavidnia, S. (Eds.). (2018). Copernicus marine service ocean state report. *Journal of Operational Oceanography*, 11(sup1), S1–S142. doi: [10.1080/1755876X.2018.1489208](https://doi.org/10.1080/1755876X.2018.1489208)

#### AGRADECIMIENTOS

Todas las imágenes de satélite utilizadas para esta investigación han sido proporcionadas gratuitamente por la NASA a través del Earth Science Data and Information System (ESDIS) y el Physical Oceanography Distributed Active Archive Center (PO.DAAC) del Jet Propulsion Laboratory, Pasadena, CA. La autora agradece los datos proporcionados y la asistencia técnica recibida.

**MARÍA JOSÉ LÓPEZ GARCÍA.** Catedrática de Geografía Física del Departamento de Geografía de la Universitat de València (España), especializada en tecnologías de la información geográfica. Su investigación se centra en el desarrollo de metodologías y aplicaciones de la teledetección espacial para el análisis del cambio global en ámbitos mediterráneos, especialmente la variabilidad espacio-temporal de la temperatura del mar, la calidad de aguas y los cambios en los usos del suelo. Ha realizado estancias de investigación en el Departamento de Geografía de la University of Bristol, en el Centre d'Océanologie de Marsella (IFREMER) y en el King's College de Londres y colaborado en diversos proyectos de investigación de ámbito autonómico, nacional y europeo.

✉ [maria.j.lopez@uv.es](mailto:maria.j.lopez@uv.es)



**«Existe un creciente consenso en que el calentamiento no es una proyección de futuro sino una realidad evidente»**