

CALENTAMIENTO DEL MAR EN LA PENÍNSULA IBÉRICA: MEDITERRÁNEO vs ATLÁNTICO, A PARTIR DE 40 AÑOS DE IMÁGENES DE SATÉLITE

María José LÓPEZ GARCÍA

Departament de Geografia. Universitat de València

maria.j.lopez@uv.es

RESUMEN

El cambio climático reciente afecta especialmente a océanos y mares. En el Mediterráneo, los registros oceanográficos y las observaciones desde satélite evidencian una intensificación del calentamiento en las últimas décadas. En este trabajo presentamos un análisis comparado del calentamiento en las fachadas mediterránea y atlántica de la península ibérica realizado a partir del análisis de imágenes de satélite AVHRR-NOAA y MODIS-Terra para el período 1985-2023. Se han calculado anomalías térmicas mensuales y anuales para distintas subzonas y se han analizado las tendencias espaciales y temporales. Los datos muestran un calentamiento global de $+1.43^{\circ}\text{C}$ en la fachada mediterránea frente a $+0.98^{\circ}\text{C}$ para la zona atlántica, con patrones estacionales similares. En ambas zonas se constata el adelanto e intensificación de la estación estival, si bien en las cuencas atlánticas destaca el incremento térmico en otoño, especialmente en los meses de octubre y noviembre.

Palabras clave: calentamiento global, SST, Mediterráneo, Atlántico, AVHRR-NOAA, MODIS-Terra

ABSTRACT

Recent climate change particularly affects oceans and seas. In the Mediterranean, oceanographic records and satellite observations show an intensification of warming in recent decades. In this paper, we present a comparative analysis of warming on the Mediterranean and Atlantic coasts of the Iberian Peninsula based on the analysis of AVHRR-NOAA and MODIS-Terra satellite images for the period 1985-2023. Monthly and annual thermal anomalies have been calculated for different sub-areas and spatial and temporal trends have been obtained. The data show a global warming of $+1.43^{\circ}\text{C}$ on the Mediterranean basins compared to $+0.98^{\circ}\text{C}$ for the Atlantic zones, with similar seasonal patterns. In both areas, the advance and intensification of the summer season is observed, although in the Atlantic basins the thermal increase in autumn stands out, especially in the months of October and November.

Key words: Global warming, SST, Mediterranean, Atlantic, AVHRR-NOAA, MODIS-Terra

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, está ampliamente aceptado el incremento de la temperatura global del planeta como consecuencia del aumento antropogénico de emisiones de gases de efecto invernadero (IPCC, 2021). En el caso de la temperatura superficial del mar (en adelante SST, por sus siglas en inglés) este aumento es especialmente notable desde la década de los 70. Numerosos estudios (i.e. Trenberth et al., 2007; Belkin et al., 2009) han tratado de cuantificar las tasas de calentamiento, las cuales varían en función del ámbito de estudio, del periodo temporal referido, así como de los métodos de observación utilizados. En el caso del mar Mediterráneo, los informes del Copernicus Marine Environment Monitoring Service (CMEMS) a partir de observaciones disponibles desde 1993 (von Schuckmann et al., 2016), señalan una tasa de calentamiento reciente de 0.04°C/año , unas 2.5 veces superior al calculado en los océanos ($0.016^{\circ}\text{C/año}$), siendo la cuenca mediterránea calificada como una zona de “calentamiento rápido”. Estas tasas varían según las subcuenca analizadas, registrándose tasas superiores en las cuencas más orientales (véase una revisión en López García, 2021).

Los estudios de climatología oceánica revisten especial dificultad debido a la escasez de registros para series temporales largas, ya sea procedentes de estaciones marinas costeras, boyas o campañas oceanográficas que suelen tener una duración y extensión limitada. Es por ello que las técnicas de teledetección espacial que proporcionan imágenes térmicas diarias desde los años 80 constituyen un complemento valioso para el análisis de la temperatura del mar. Aunque los sensores a bordo de satélites solamente registran la temperatura de la superficie marina, proporcionan una visión sinóptica, continua y completa de todo el planeta que ha permitido avanzar en el conocimiento de la variabilidad espacio-temporal de este parámetro. A la serie Tíos-NOAA, sensor Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR), iniciada en 1978, le han seguido otros programas como los satélites Terra y Aqua, puestos en órbita por la NASA en 1999 y 2002 respectivamente, que incluyen el sensor MODerate-resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) capaz de obtener imágenes de SST con una alta resolución temporal (López García, 1991; 2020).

En la península ibérica son muchos los trabajos que, en las dos últimas décadas, se han dedicado al estudio del calentamiento en las aguas mediterráneas tanto a partir de registros oceanográficos (Vargas-Yáñez et al., 2005, 2009, 2010; Salat y Pascual, 2006; Salat et al., 2019) como a partir de observaciones desde satélite (Santoreli et al., 1994; Nykjaer, 2009; López García y Camarasa, 2011; Skliris et al., 2012; Shaltout y Omstedt, 2014; López García, 2015 y 2021; Pastor et al., 2018; Mohamed et al., 2019; Pisano et al., 2020). La mayoría de autores señalan un incremento de la temperatura superficial del mar, especialmente notable desde la década de los 90, con tasas que oscilan entre 0.02 y 0.05°C/año dependiendo de la región y del periodo analizado.

Trabajos pioneros relativos a las cuencas liguro-provenzal, balear y de Alborán y basados en dos décadas de datos (López García y Camarasa, 2011, López García, 2012 y 2015) identificaron diferencias estacionales y regionales en la magnitud del calentamiento del Mediterráneo occidental. Estos estudios identificaron que las tasas más altas de calentamiento se producían durante los meses de primavera-verano en todas las cuencas y apuntaban cambios en la curva de evolución anual de la SST, lo que evidenciaba un proceso de adelantamiento e intensificación de la estación estival.

Las mayores tasas de calentamiento se identificaron en la cuenca liguro-provenzal ($+0.06^{\circ}\text{C/año}$) y durante el mes de junio. Análisis más recientes basados en series de 35 años de imágenes (López García, 2020) confirman estas tendencias estimando un calentamiento global para las cuencas mediterráneas peninsulares entre 0.6 y 1°C , siendo los meses de junio y julio cuando se registran las tasas de calentamiento más elevadas.

En el caso de las aguas atlánticas que rodean la península ibérica, los estudios disponibles son menos abundantes, especialmente los que incluyen análisis de imágenes térmicas. En la bahía de Vizcaya, De Castro et al. (2009) utilizando datos oceanográficos e imágenes térmicas identifican una alternancia de ciclos de enfriamiento-calentamiento, con un periodo aumento de SST a partir de 1974, con tasas de $+0.22^{\circ}\text{C/década}$. Los autores observan diferencias estacionales y espaciales en primavera y verano, cifrando un aumento de la SST en 0.54°C en los meses de verano para el período 1985-2006. En las costas portuguesas, otros autores (Biguino et al., 2023) observan un aumento de la SST desde 1982 con variaciones regionales que cifran entre 0.10 y 0.25°C por década, si bien los autores señalan una disminución del calentamiento en la última década.

Este trabajo presenta un análisis de la temperatura superficial del mar realizado para un periodo de casi 40 años a partir del análisis de series de imágenes térmicas mensuales obtenidas por los sensores AVHRR a bordo del satélite NOAA y del sensor MODIS a bordo del satélite Terra. Los datos han sido proporcionados por los servidores de la NASA. El principal objetivo es realizar un análisis comparado de la variabilidad espacial y temporal de la SST entre las cuencas mediterráneas y atlánticas, tratando de identificar si existen patrones comunes en la evolución estacional de las temperaturas y en la magnitud del calentamiento reciente en ambas zonas.

2. MÉTODOS

La serie temporal de imágenes térmicas utilizadas procede de dos misiones de satélite: el sensor AVHRR a bordo de los satélites NOAA para el período 1985-2000 y el sensor MODIS a bordo del satélite Terra para el período 2000-2023. Las imágenes NOAA fueron obtenidas del archivo Pathfinder del Physical Oceanography Distributed Active Archive Center (PO.DAAC) v.5 y las imágenes MODIS se descargaron del producto “MODIS-Terra Level 3 SST Thermal IR v2019”. En ambos casos, se utilizaron imágenes nocturnas, con resolución espacial de 4 km, corregidas mediante los algoritmos testados y validados por la NASA (ver Vázquez et al., 1998 y Marullo et al., 2007 para AVHRR y Minnet et al., 2003 para MODIS). Los datos están disponibles online en servidor de la NASA (<http://www.earthdata.nasa.gov>).

El empleo de dos series de imágenes distintas requirió un proceso previo de homogeneización. Se procesaron un total de 588 imágenes mensuales, incluyendo el periodo de solapamiento entre ambas series. Para el procesado de las imágenes y la extracción de los valores de temperatura se utilizó el software libre SNAP de la Agencia Espacial Europea.

2.1. Zona de estudio y extracción de datos

El ámbito de estudio analizado incluye las cuencas mediterráneas: liguro-provenzal (CLP), balear (CB), argelina (CAR) y de Alborán (CAL) y las zonas atlánticas (Cantábrico-bahía de Vizcaya (ATLN), Atlántico oriental (ATLW) y Atlántico sur (ATL-S) que abarca la zona de la bahía de Huelva-costa africana) (Figura 1).

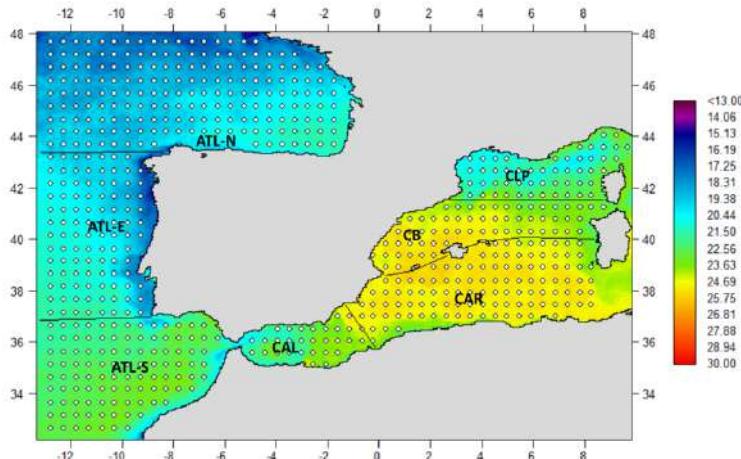


Fig. 1: Ejemplo de las imágenes utilizadas en el estudio. Imagen MODIS-Terra de agosto 2020. Sobre la imagen el muestreo de puntos y las 7 subzonas analizadas

Se diseñó un muestreo de 641 zonas sobre toda el área de estudio (248 muestras en las cuencas mediterráneas y 393 en las atlánticas), y en cada punto de muestreo se extrajeron los valores de temperatura media mensual de 9 píxeles. Este método permite una revisión previa de los datos para eliminar del cálculo los píxeles no válidos que pueden estar afectados por cubierta nubosa o contener valor de calidad dudoso. Una vez extraídos los datos de temperatura de las imágenes, se calcularon los estadísticos básicos (media, desviación estándar, mínimo, máximo) mensuales y anuales correspondientes a cada una de las subzonas señaladas en la Figura 1.

2.2. Homogeneización de las series

La existencia simultánea de imágenes de temperatura mensual procedentes del sensor AVHRR-NOAA y del MODIS-Terra para el período comprendido entre febrero de 2000 y diciembre de 2009 permitió realizar el proceso de homogenización de ambas series. Un trabajo previo (López García, 2020) que comparaba los datos de SST obtenidos mediante el sensor AVHRR (Panthfinder v5) y el MODIS v14 en las cuencas mediterráneas, concluyó que existía una alta correlación ($R^2 = 0.99$) entre los registros de ambos sensores cuando se obtienen valores promedio a escala regional. No obstante, se observó sobreestimación de la temperatura registrada por el sensor AVHRR ($+0.18^\circ\text{C} \pm 0.19^\circ\text{C}$, en promedio) respecto a los datos registrados por MODIS. Esta discrepancia era menor durante los meses de invierno y primavera ($+0.09^\circ\text{C} \pm 0.13^\circ\text{C}$ de enero a mayo) y mayor entre junio y diciembre ($+0.24^\circ\text{C} \pm 0.19^\circ\text{C}$). La comparación de ambas series permitió calcular factores mensuales de corrección para homogeneizar y unificar las series climáticas.

En la actualidad, el servidor de la NASA proporciona una nueva versión de los datos MODIS (v19) por lo que fue necesario realizar de nuevo la comparación entre series. La Figura 2 muestra las correlaciones obtenidas para las cuencas mediterráneas y atlánticas. Los datos indican que las diferencias entre ambas series se han incrementado con la nueva versión V19 existiendo una diferencia media de $+0.32^{\circ}\text{C} \pm 0.19^{\circ}\text{C}$ entre los datos de temperatura registrados por el sensor AVHRR y el MODIS. El análisis permitió calcular los factores de corrección mensuales específicos para las cuencas atlánticas y mediterráneas y, con ellos, homogenizar la serie haciendo viable el análisis para el conjunto de la serie (1985-2023).

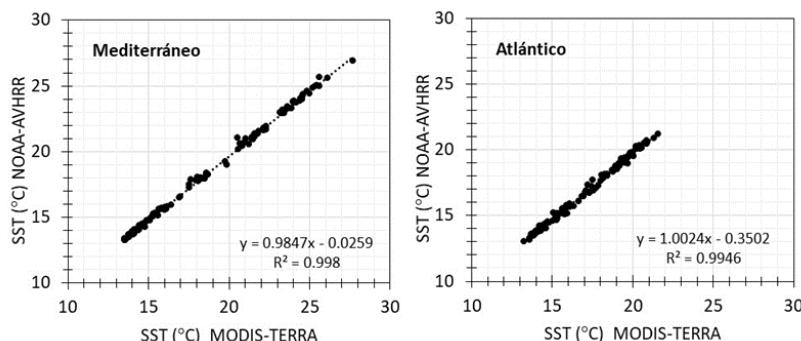


Fig. 2: Correlación entre los datos de SST extraídos a partir de las series AVHRR-NOAA y MODIS-Terra para el periodo de solapamiento (2000-2009). Las gráficas representan los valores medio registrados por ambos sensores en las zonas del Mediterráneo (izqda.) y el Atlántico (dcha.)

2.3. Análisis de la variabilidad espacio-temporal

Para el análisis de tendencias en la serie temporal (1985-2023) se calcularon las anomalías térmicas anuales y mensuales para cada subzona tomando como referencia, respectivamente, el valor medio anual y el valor medio mensual de la serie. Mediante técnicas de regresión lineal se obtuvieron las tasas de calentamiento para cada una de las subzonas, diferenciando entre las tasas anuales y las tasas en cada uno de los meses. Los valores medios mensuales permitieron también el análisis del ciclo anual de temperatura y sus cambios en la serie temporal.

3. RESULTADOS

3.1. Tendencias interanuales y patrones regionales

Las anomalías térmicas anuales para la serie de 40 años muestran una clara tendencia positiva a partir de las dos últimas décadas, tanto en las cuencas mediterráneas como en las zonas atlánticas (Figura 3), con tasas de calentamiento medio similares, más bajas en el Atlántico ($+0.025^{\circ}\text{C/año}$) que en el Mediterráneo ($+0.037^{\circ}\text{C/año}$). En ambas zonas se observa que el calentamiento del mar se ha intensificado especialmente en los últimos 10 años, registrándose las mayores anomalías en el año 2023 en el Atlántico ($+1.18^{\circ}\text{C}$) y en 2022 y 2023 en el Mediterráneo ($+1.21^{\circ}\text{C}$) respecto a la media anual de la serie.

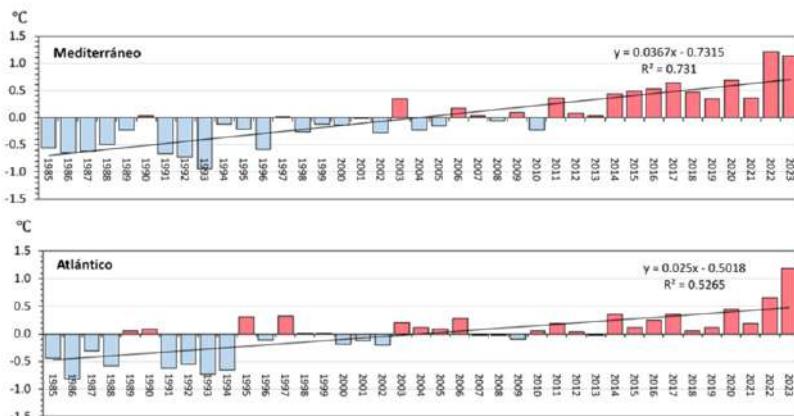


Fig. 3: Anomalías térmicas anuales de la SST para la serie 1985-2023 obtenidas a partir de imágenes de satélite para las zonas del Mediterráneo y del Atlántico

Las tasas de calentamiento calculadas por meses confirman los patrones de mayor intensidad en los meses cálidos (primavera, verano y otoño) ya apuntados en la bibliografía para las cuencas mediterráneas (López García y Camarasa, 2011; López García, 2015, 2021). En la Figura 4 se comparan los datos globales de calentamiento registrados para el Mediterráneo y el Atlántico en cada uno de los meses (4a), y se muestran también los valores registrados en cada una de las subzonas en cada mes (4b). En el Mediterráneo peninsular, en las cuatro últimas décadas, la temperatura se ha incrementado 1.43°C, debido al aumento de las temperaturas en los meses cálidos, fundamentalmente junio y julio, cuando se registran las mayores tasas (+0.061 y +0.062°C/año). Estas tasas suponen un incremento global de 2.37 y 2.43°C, respectivamente. En las zonas del Atlántico también se observa un aumento de las temperaturas significativo, si bien la cifra global es de 0.98°C. Destaca que en el Atlántico el calentamiento es más intenso en los meses otoñales, con tasas máximas en octubre (+0.038°C/año) que supone un aumento global de la SST de 1.48°C, y tasas destacables también en primavera (+0.033°C/año en mayo) y verano (+0.035°C/año en junio), lo que implica un aumento global de 1.28°C y 1.38°C respectivamente.

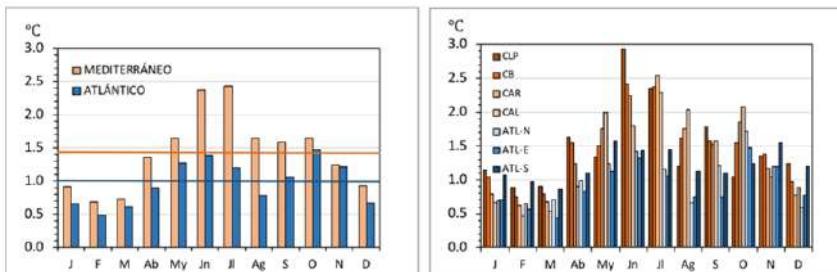


Fig. 4: Calentamiento global (°C) en el Atlántico y Mediterráneo peninsular (a) y en las distintas subzonas (b) para el período 1985-2023. Las líneas horizontales en la gráfica de la derecha indican el valor promedio medio global en cada zona

El análisis regional (Figura 4b) muestra que en el Mediterráneo el máximo calentamiento se registra en la cuenca más septentrional (liguro-provenzal) donde se ha registrado un incremento térmico de casi 3°C en el mes de junio, con una tasa de $+0.07^{\circ}\text{C/año}$. En la fachada atlántica el máximo calentamiento se registra en octubre en el mar Cantábrico (1.7°C) y en el Atlántico sur en los meses de mayo, junio y julio, con cifras que oscilan entre 1.4 - 1.6°C .

Si bien el calentamiento en el Atlántico es de menor intensidad, la representación de las anomalías térmicas mensuales en toda la serie temporal (Figura 5) permite identificar patrones semejantes. Se observa un periodo donde predominan anomalías negativas desde 1985 hasta 2000, y una intensificación de las anomalías positivas especialmente en los últimos años. En el Mediterráneo, se identifican las olas de calor como el verano extraordinario de 2003, 2006, 2015, 2017 y el año 2022 con anomalías record desde el mes de mayo hasta noviembre. En el Atlántico, el patrón es similar si bien destaca el año 2023 (junio y octubre) con anomalías positivas superiores a las registradas en el Mediterráneo.

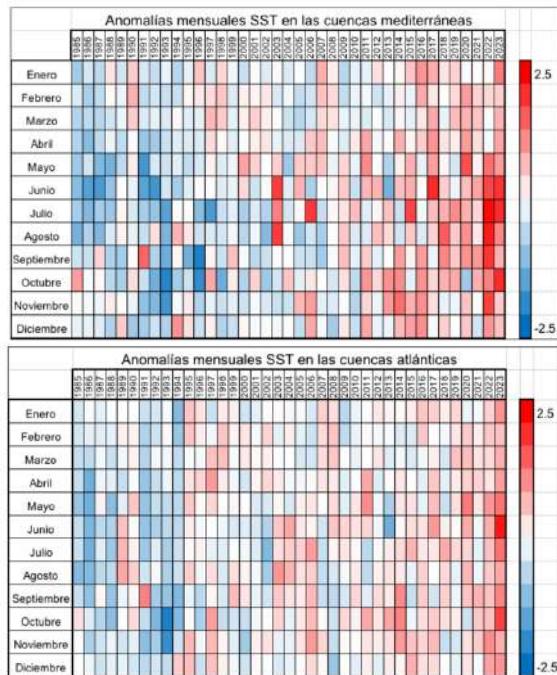


Fig. 5: Anomalías térmicas mensuales ($^{\circ}\text{C}$) en el periodo 1985-2023 para las cuencas atlánticas y mediterráneas

3.2. Cambios en la curva de evolución anual

El ciclo anual de la temperatura presenta diferencias entre las cuencas atlánticas y mediterráneas (Figura 6a). Si bien en los meses de invierno (diciembre, enero, febrero) la temperatura media es similar (13 - 14°C), en verano se alcanzan valores más elevados

en el Mediterráneo ($25.01 \pm 0.84^\circ\text{C}$ en agosto) que en el Atlántico ($20.18 \pm 0.56^\circ\text{C}$), con una amplitud térmica anual superior, 11.16°C frente a 6.50°C .

El calentamiento del mar experimentado en las últimas cuatro décadas se manifiesta también en las variaciones del ciclo anual. La Figura 6b y 6c representa, respectivamente, los cambios registrados en la curva estacional tomando como referencia dos períodos en la serie anual: 1985-2000 y 2001-2023. En ambas zonas se observa el adelanto de la estación estival, su mayor intensidad y la prolongación del verano. En el caso de las cuencas atlánticas, destaca el aumento de las temperaturas en otoño y primavera, con máximos en torno a 1.5°C registrados para todo el período en el mes de octubre.

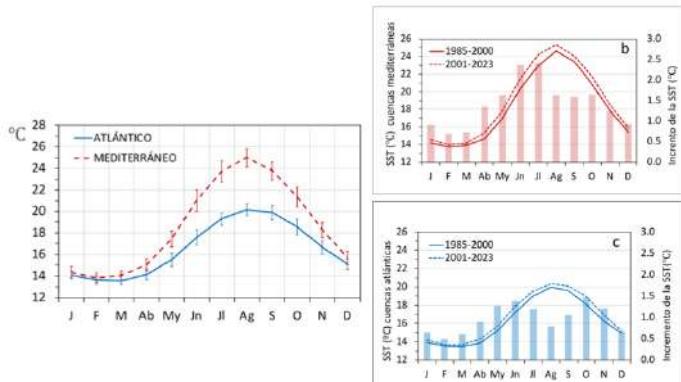


Fig. 6: Ciclo anual en la temperatura en las cuencas atlánticas y mediterránea (a) y variaciones de la curva estacional (b y c)

4. CONCLUSIONES

El análisis comparado del calentamiento del mar en la fachada atlántica y mediterránea de la península ibérica muestra patrones generales similares, con un aumento de la temperatura significativo, especialmente en las dos últimas décadas, en las que predominan las anomalías positivas. Las imágenes de satélite para la serie 1985-2023 cifran un aumento de la temperatura global de 1.4°C en las cuencas mediterráneas peninsulares y de 1°C en las zonas atlánticas. La tasa es mayor en el Mediterráneo ($+0.037^\circ\text{C/año}$) que en el Atlántico ($+0.025^\circ\text{C/año}$) y en ambas zonas se detectan variaciones regionales. En el Mediterráneo, el calentamiento es mayor en la cuenca liguro-provenzal, y en el Atlántico, los mayores aumentos corresponden a la zona de la bahía de Cádiz, aunque también se observa un incremento acusado de la temperatura en otoño en el mar Cantábrico.

Este análisis revela que el calentamiento en las cuencas atlánticas, aunque menos intenso que en el Mediterráneo, se está produciendo también de forma acelerada.

En cuanto a las variaciones estacionales, en el Mediterráneo el aumento de las temperaturas se produce fundamentalmente en los meses de junio y julio (con un incremento promedio de casi 2.5°C) y se prolonga hacia el otoño mientras que, en el Atlántico, además del incremento estival, destaca el aumento de temperatura registrado en octubre y noviembre (con un incremento promedio de casi 1.5°C). El

análisis de anomalías mensuales detecta también una intensificación reciente de los meses cálidos, con records en 2022 en el Mediterráneo y 2023 en el Atlántico. Los resultados son coherentes con las estimaciones recientes indicadas por otros autores y alertan sobre un calentamiento acelerado en el mar cuyas consecuencias para los ecosistemas marinos requieren la máxima atención.

REFERENCIAS

- Belkin, I. (2009): Rapid warming of Large Marine Ecosystems. *Progress in Oceanography* 81, 2017-213. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2009.04.011>
- Biguino, B., Antunes, C., Lamas, L. Jenkins, L.J., Dias, J.M., Haigh, I.D. y Brito, A.C. (2023): 40 years of changes in sea surface temperature along the Western Iberian Coast. *Science of the Total Environment* 888, 164193. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.164193>
- De Castro, M., Gómez-Gesteira, M., Alvarez, I., Gesteira, J.L.G (2009) Present warming within the context of cooling-warming cycles observed since 1854 in the Bay of Biscay. *Continental Shelf Research* 29, 1053-1059. <https://doi.org/10.1016/j.csr.2008.11.016>
- López García, M.J. y Camarasa, A.M. (2011): Recent trends of SST in the Western Mediterranean basins from AVHRR Pathfinder data (1985-2007). *Global Planetary Change*, 78, 127-136. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2011.06.001>
- López García, M.J. (2012) Calentamiento reciente en el contorno del mar balear. Hacia un adelantamiento y prolongación de la estación estival. En: Rodriguez Puebla, C. et al. (Eds.) Cambio climático. Extremos e impactos, Pub. de la Asociación Española de Climatología (AEC). Serie A, nº 8, AEC, Salamanca, pp. 459-467
- López García, M.J. (2015): Recent warming in the Balearic Sea and Spanish Mediterranean coast. Towards an earlier and longer summer. *Atmosfera*, 28 (3), 149-160. <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: 2221, <https://doi.org/10.3390/rs12142241>
- López García, M.J. (2021) How much warmer is the Mediterranean becoming? Thirty-five years of satellite observation. *Metode Science Studies Journal* 11: 193-199. <https://doi.org/10.7203/metode.11.16693>
- Marullo, S., Buongiorno, B., Guaracino, M., Santoleri, R. (2007): Observing the Mediterranean Sea from space: 21 years of Pathfinder-AVHRR Sea surface temperatures (1985 to 2005): re-analysis and validation. *Ocean Science* 3, 299-310. hal-00298409
- Minnett, P.; Evans, R.; Kearns, E.; Brown, O. Sea-surface temperature measured by the Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) (2003). En: IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium; Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE): Piscataway, NJ, USA; Vol. 2, pp. 1177–1179.
- Mohamed, B., Mohamed, A., 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.

- Nykjaer, L. (2009): Mediterranean Sea surface warming 1985-2006. Climate Research 39, 11-17. 10.3354/cr00794
- Pastor, F., Valiente, J.A. y Palau, J.L. (2018): Sea Surface Temperature in the Mediterranean: Trends and Spatial Patterns (1982-2016). Pure and Applied Geophysics 175, 4017-4029. <https://doi.org/10.1007/s00024-017-1739-z>
- Pisano, A., Marullo, S., Artale, V., Falcini, F., Yang, C., Leonelli, F.E., Santoleri, R. y Buongiorno Nardelli, B. (2020): New Evidence of Mediterranean Climate Change and Variability from Sea Surface Temperature Observations. Remote Sensing 12, 132. <https://doi.org/10.3390/rs12010132>.
- Salat, J. y Pascual, J. (2006): Principales tendencias climatológicas en el Mediterráneo noroccidental, a partir de más de 30 años de observaciones oceanográficas y meteorológicas en la costa catalana. En: Cuadrat, J.M. et al. (Eds.), Asociación Española de Climatología serie A, nº5, Zaragoza, pp. 283–290.
- Salat, J., Pascual, J., Flexas, M., Chin, T.M., Vazquez-Cuervo, J. (2019) Forty-five years of oceanographic and meteorological observations at a costal station in the NW Mediterranean: a ground truth for satellite observations. Ocean Dynamics 69, 1067-1084. <https://doi.org/10.1007/s10236-019-01285-z>
- Santoreli, R., Böhm, E. y Schiamo, M.E. (1994): The sea surface temperature of the Western Mediterranean Sea: historical satellite thermal data. En: La Violette, P.E. (Ed.) Seasonal and interannual variability of the Western Mediterranean Sea. Coastal and Estuarine Studies, 46, 155-176.
- Shaltout, M. y Omstedt, A. (2014): Recent sea surface temperature trends and future scenarios for the Mediterranean Sea. Oceanologica 56 (3), 411-443.
- Skliris, N., Sofianos, S., Gkanasos, A., Mantzafou, A., Vervatis, V., Axaopoulos, P. y Lascaratos, A. (2012): Decadal scale variability of sea Surface temperatura in the Mediterranean Sea in relation to atmospheric variability. Ocean Dynamics 62, 13-30.
- Trenberth, K E, Jones, P D, Ambenje, P, Bojariu, R, Easterling, D, Klein Tank, A, Parker, D, Rahimzadeh, F, Renwick, J A, Rusticucci, M, Soden, B, and Zhai, P. Observations. Surface and Atmospheric Climate Change. Chapter 3. United Kingdom: N. p., 2007. Web.
- Vargas-Yáñez, M., Salat, J., Fernández, M.L., López-Jurado, J.L., Pascual, J., Ramírez, T., Cortés, D., y Franco, I. (2005): Trends and time variability in the northern continental shelf of the western Mediterranean. J. Geophysical Research 110, C10019.
- Vargas-Yáñez, M., García, M.J., Salat, J., García, M.C., Pascual, J. y Moya, F. (2009): Warming trends and decadal variability in the Western Mediterranean shelf. Global Planetary Change, 63, 177-184.
- Vargas-Yáñez, M., Zunino, P., Benali, A. Delpy, M. Pastre, F. Moya, F., García-Martínez, M.C., Tel, E. (2010): How much is the western Mediterranean really warming and salting?. J. Geophysical Research, 115, C04001.
- Vázquez, J. Perry, K. y Kilpatrick, K. (1998): NOAA/NASA AVHRR Oceans Pathfinder sea surface temperature data set user's reference manual, version 4.0. JPL Publication D-14070.
- Von Schuckmann, K., Le Traon, P.Y., Smith, N., Pascual, A., Brasseur, P., Fennel, K. y Djavidnia, S. (Eds) (2018): Copernicus marine service ocean state report, J. Operational Oceanography, 11: sup1, S1-S142.