



SEMINARIO ESTRATEGIAS DE ADAPTACIÓN A LA CRISIS CLIMÁTICA

VALENCIA 3 DE OCTUBRE DE 2019

Coordinador: Jorge Olcina

**BLOQUE I:
REALIDAD CIENTÍFICA Y TRANSMISIÓN A LA SOCIEDAD**

M^o José López (UV),

**"Tendencias recientes de la
temperatura del Mar Mediterráneo a
partir de imágenes de satélite "**

Coorganiza

La cuenca mediterrànea constituye un escenario único en el mundo por sus condiciones fisiogràficas, climàticas y su larga historia de ocupación. Es una cuenca semi-cerrada, rodeada por tres continentes, con grandes contrastes topogràficos y un espacio litoral de 46.000 km de costa sometido a una gran presión demogràfica e intensa urbanización. Ha sido considerada un “océano en miniatura”, laboratorio perfecto para estudiar las interacciones y realimentaciones entre los procesos oceànicos-atmosféricos-hidrológicos (Bethoux *et al.*, 1999). La configuración de la cuenca y su posición entre climas de latitudes medias templados y climas subtropicales, la hacen muy sensible al cambio climàtico, identificada como uno de los puntos calientes (*hotspot*) del cambio climàtico.

La hidrología de la cuenca está dominada por su característica de “cuenca de concentración” donde las pérdidas por evaporación (*output*) superan las ganancias (*inputs*) procedentes de la precipitación y los aportes fluviales. Este déficit se compensa por los intercambios de agua con el Atlàntico a través estrecho de Gibraltar y con el Mar Negro por el estrecho del Bósforo. La circulación mediterrànea, cuyo esquema ha sido descrito y matizado a lo largo del siglo XX (Millet, 1999), reviste carácter “termohalino”, provocada por las diferencias de densidad entre las distintas masas de agua de la cuenca. El Mediterràneo 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 Lion y en el norte del Adriàtico.

En el balance hidrológico de la cuenca, los aportes fluviales constituyen un factor relevante. La cuenca vertiente es también singular, solamente 6 cuencas superan una extensión de 50.000 km² (Nilo, Ródano, Ebro, Po, Moulouya, Evros) y 15 los 10.000 km², el resto son cuencas pequeñas y medianas con un régimen efímero y torrencial. En las últimas décadas, se ha constatado una disminución de los aportes fluviales a la cuenca, debido tanto a causas climàticas como antrópicas (construcción de embalses, incremento del consumo agrícola) cuyas consecuencias se relacionan con el incremento reciente de salinidad de las aguas (García-Martínez *et al.*, 2018).

No hay duda del interés que el Mediterràneo suscita en los estudios del cambio climàtico ni de la necesidad de establecer sistemas globales de observación multiescalares que permitan vigilar, monitorizar, analizar y predecir con rigor los impactos de la actividad humana.

Algunos datos sobre el calentamiento de océanos y mares

En la actualidad, existe acuerdo acerca del calentamiento del planeta atribuido al incremento del CO₂ atmosférico, especialmente evidente en las cuatro últimas décadas. Los informes del AR5 del IPCC (2013) señalan un calentamiento global del planeta de

0.85°C en el periodo 1889-2012. Se estima que, desde 1970 los océanos han acumulado más del 90% de la energía en el sistema climático y que la tasa de calentamiento global en las capas superficiales de los océanos alcanza 0.11°C/década. No obstante, las tasas calculadas varían dependiendo de la escala espacial (global, regional o local), del ámbito regional y del período de tiempo considerados, así como de las bases de datos (*in situ*, satélite) utilizadas.

Los estudios sobre ecosistemas marinos adolecen de escasez de registros *in situ* de series temporales largas y las diferencias en la metodología de toma de datos dificultan el análisis de tendencias a medio y largo plazo. Diversos autores, a partir de las bases de datos de temperatura superficial del mar (SST) del Meteorological Office Hadley Center, identifican un período de descenso de temperatura entre 1948 y 1970 seguido de un periodo de calentamiento acelerado a partir de esta última década (Trenberth *et al.*, 2007; Belkin *et al.*, 2009). Según los autores, la temperatura superficial en el Mediterráneo se incrementó 0,71°C en el período 1982 a 2006, siendo 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 informes del Copernicus Marine Environment Monitoring Service (CMEMS) a partir de las observaciones disponibles desde 1993 (von Schuckmann *et al.*, 2016), señalan un calentamiento global de los océanos de 0.016 °C/año, con cifras muy superiores en el caso del Mediterráneo (0.04°C/año).

En el ámbito del Mediterráneo peninsular, no hay duda del incremento de temperatura y salinidad tanto en las capas superficiales como las intermedias y profundas (Vargas-Yáñez *et al.*, 2005, 2009, 2010a; Lionello *et al.*, 2006). El *Informe sobre Cambio Climático en el Mediterráneo español* (Vargas-Yáñez *et al.*, 2010b) 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° y en las capas profundas entre 0,03 y 0.1°C. Si bien el incremento en las capas profundas puede parecer pequeño, 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 70. Hay que señalar que los registros sistemáticos de observación marítima en la zona se implantaron, en su mayor parte, desde el inicio de la década de los 90, con la excepción de la estación oceanográfica de L’Estartit (en la plataforma continental catalana), que constituye la serie oceanográfica ininterrumpida más larga del Mediterráneo registrando datos desde la década de los 70. Los análisis basados en estas observaciones (Salat y Pascual, 2006; Salat *et al.*, 2019) señalan un calentamiento de 0.03°C/año en las capas superficiales para el periodo total, con tasas superiores (0.09°C/año) en la década mas reciente. También identifican variaciones estacionales, con tasas más en la primavera (0.039°C/año).

A partir de los años 80s, las imágenes térmicas obtenidas por el sensor Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR) a bordo del satélite NOAA abren nuevas perspectivas al análisis de la temperatura superficial del mar, proporcionando una visión sinóptica y continua que complementa los registros *in situ* (López García, 1991; Santoreli *et al.*, 1994; Marullo *et al.*, 2007; entre otros). En décadas recientes, la disponibilidad de series de imágenes de calidad y longitud suficiente han permitido analizar la variabilidad

espacio-temporal de la temperatura superficial del mar a escala regional y calcular tendencias a medio plazo. Han proliferado los estudios que profundizan en el calentamiento del Mediterráneo (Nykjaer, 2009; López García y Camarasa, 2011; López García, 2015; Shaltout y Omstedt, 2014; Mohamed *et al.*, 2019; entre otros) apuntando todos ellos tasas promedio que oscilan entre 0.024-0.04°C/año según autores, con valores superiores 0.05°C/año en el Mediterráneo oriental (Nykjaer, 2009). Estas tasas indican un aumento de la SST global entre 0.6 - 1°C en 25 años. Las predicciones en base a estos datos y teniendo en cuenta las tendencias de los últimos años alertan de un incremento de hasta 5.8°C para 2100 (Sakalli, 2017).

Evolución de la SST en el Mediterráneo occidental (1985-2019)

A continuación, presentamos los resultados obtenidos sobre el calentamiento en las cuencas occidentales del Mediterráneo (Liguro-Provenzal, Balear, Alborán y Argelina) para el período comprendido entre enero de 1985 y mayo de 2019, basados en el análisis de series de imágenes térmicas mensuales obtenidas desde satélite. Para el periodo 1985-2009 se han utilizado 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 se utilizaron imágenes del sensor MODIS-Terra Level 3 v2014. En ambos casos la resolución espacial de la base de datos es 4 km y se analizaron imágenes nocturnas, 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 superposición de ambas series para el período 2000-2009 mostró una elevada correlación ($r^2= 0.998$) y permitió homogeneizar las series.

La Figura 1 muestra la evolución de la temperatura media en la zona de estudio obtenida a partir de los datos mensuales. Se aplicó una media móvil de 12 para eliminar el efecto estacional. La tasa de variación obtenida para el conjunto de las cuencas es de 0.03 °C/año, lo que supone un incremento medio de la temperatura de 1°C en los 35 años analizados.

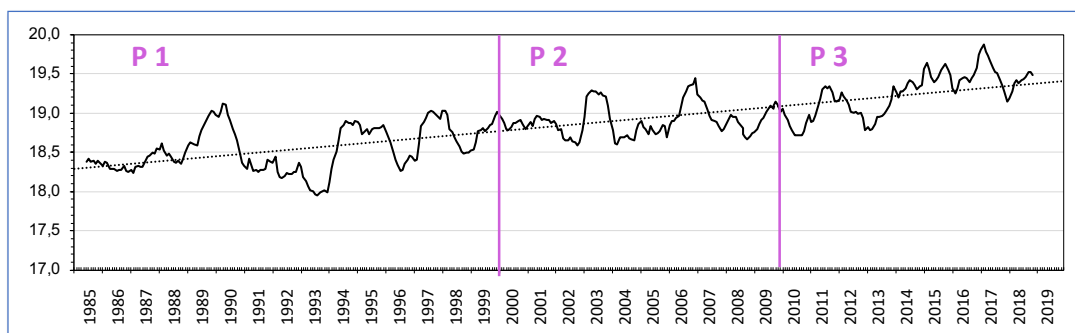


Figura 1. Evolución de la temperatura superficial del mar en las cuencas Liguro-Provenzal-Balear-Argelina y Alborán para el periodo 1985-2019 a partir imágenes térmicas (NOAA-MODIS)

Los cálculos de tendencia realizados por meses evidencian diferencias estacionales significativas que oscilan entre tasas mínimas en invierno (0.01°C/año en febrero) y máximos en primavera-verano (0.06°C/año en junio). Los datos indican que el

calentamiento observado se produce fundamentalmente durante los meses de junio y julio, manifestando una alteración en la curva estacional.

La Figura 2a representa la curva estacional promedio calculada para los tres períodos de tiempo señalados en la figura 1 (P1, P2 y P3). Comparando las curvas se observa que en la década inicial (1985-1999) solamente en un mes (agosto) se superan los 24°C de media en el periodo, mientras que en las décadas más reciente (2000-2019) se superaron los 24°C promedio en tres meses (julio, agosto y septiembre), registrándose medias próximos a 27°C en agosto de 2003 y 2018. Los datos evidencian un adelanto del calentamiento primaveral, así como la intensificación y prolongación de la estación estival. En valores absolutos (Figura 2b), el máximo incremento de temperatura se computó en los meses de junio, julio y octubre, con un aumento global de 1.2°C en las dos últimas décadas.

Este análisis confirma las tendencias obtenidas en estudios anteriores referidos al período 1985-2007 (López García y Camarasa, 2011; López García, 2015). En este último trabajo se comparan los datos del mar con los registros de temperatura del aire en varios observatorios litorales de la cuenca Balear, obteniendo tendencias similares en tierra y en el mar.

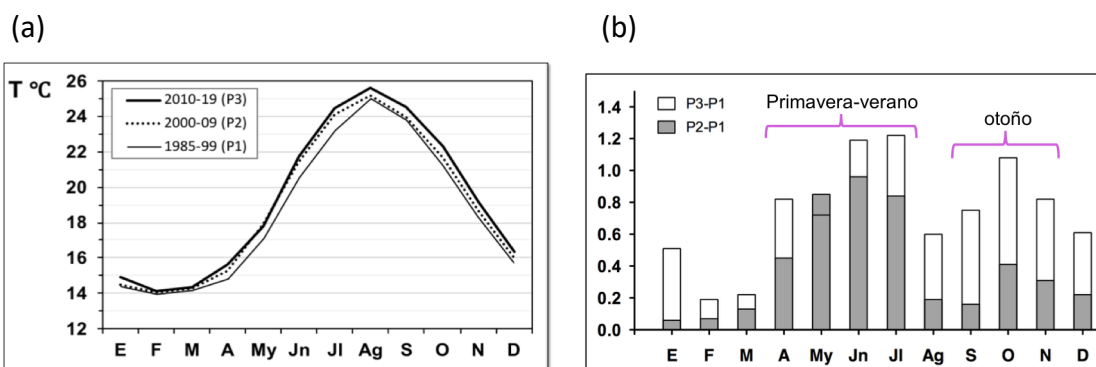


Figura 2. Evolución de la curva estacional (a) e incremento absoluto de la temperatura por meses (b) en los tres períodos de tiempo considerados

En 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 por otros autores. Nuestros datos muestran que este calentamiento se produce fundamentalmente en los meses de primavera y otoño, apreciándose una tendencia clara al adelanto, prolongación e intensificación del verano.

Las consecuencias del calentamiento del Mediterráneo en aspectos como la subida del nivel del mar, la alteración de los patrones de circulación, la abundancia, distribución y estructura de especies marinas (Lejeusne *et al.*, 2009), o la frecuencia e intensificación de procesos atmosféricos como las DANAs son objeto de investigación por parte de la comunidad científica. Si bien la causalidad y atribución de los procesos no son fáciles de discernir, no hay duda del papel del hombre como principal agente inductor, ni tampoco de la afectación cada vez mayor del calentamiento en nuestras vidas. Corresponde una toma de conciencia clara y actuaciones que permitan la mitigación de los impactos a los que nos enfrentamos.

Bibliografía

- Belkin, I. (2009): Rapid warming of Large Marine Ecosystems. *Progress in Oceanography* 81, 2017-213.
- Bethoux J. P., B. Gentili, P. Morin, E. Nicolas, C. Pierre and D. Ruiz-Pino (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, 131-146.
- Giorgi, F. (2006): Climate change hot-spots. *Geophysical Research Letters*, 33, L08707,
- 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 University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 p.
- García-Martínez, M.C., Vargas-Yáñez, M., Moya, F., Zunino, P. y Bautista, B. (2018): The Effects of Climate Change and Rivers Damming in the Mediterranean Sea during the Twentieth Century. *Research Journal of Environmental Science* 8 (3), 555741.
- Lejeusne C., P. Chevaldonné, C. Pergent-Martini, C. F. Boudouresque and T. Pérez (2010). Climate change effects on a miniature ocean: The highly diverse, highly impacted Mediterranean Sea. *Trends in Ecology and Evolution* 25, 250-260.
- Lionello, P., Malanotte-Rizzoli, P., Boscolo, R., Alpert, P., Artale, V., Li, L., Luterbacher, J., May, W., Trigo, R., Tsimplis, M., Ulbrich, U. y Xoplaki, E. (2006): The Mediterranean Climate: An Overview of the Main Characteristics and Issues. En: Lionello, P., Malanotte-Rizzoli, P. y Boscolo, R. (Eds), *Mediterranean Climate Variability*. Elsevier, Amsterdam, pp. 1-26.
- López García, M.J. (1991): *La temperatura superficial del mar Balear a partir de imágenes de satélite*. Universitat de València, 284 pp.
- 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.
- 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.
- Marullo, S., Buongiorno, B., Guarracino, 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.
- Millot, C. (1999): Circulation in the Western Mediterranean Sea. *J. Marine Systems* 20, 423-442.
- Mohaned, 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.
- 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.
- 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 coastal station in the NW Mediterranean: a ground truth for satellite observations. *Ocean Dynamics* 69, 1067-1084.
- 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.

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., Ramirez, 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. (2010a): How much is the western Mediterranean really warming and salting?. *J. Geophysical Research*, 115, C04001.

Vargas-Yáñez, M., García, M.C., Moya, F., Tel, E., Parrilla, G., Plaza, F., Lavín, A. y García, M.J. (2010b). *Cambio climático en el Mediterráneo español*, Temas de oceanografía, nº 3, Instituto Español de Oceanografía y Ministerio de Ciencia e Innovación, 2ª ed.actualizada, 178 p.

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.

CURRICULUM VITAE

María José López García

Catedrática de Geografía Física del *Departament de Geografia* de la *Universitat de València*, especializada en Tecnologías de la Información Geográfica (TIG). Su labor investigadora se ha centrado en el desarrollo de metodologías y aplicaciones de la teledetección espacial para el análisis del Cambio Global en el ámbito Mediterráneo, 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 *Department of Geography* de la *University of Bristol*, en el *Centre de Océanologie de Marseille* (IFREMER) y en el *King's College of London*. Ha participado en diversos proyectos de investigación de ámbito nacional, autonómico y europeo. Sus aportaciones se recogen en más de 70 capítulos y artículos científicos.

(https://www.researchgate.net/profile/Maria_Jose_Lopez_Garcia)