Frente Marítimo
Publicación de la CTMFM
2025

ANÁLISIS DE OLAS DE CALOR MARINAS EN LA ZONA COMÚN DE PESCA ARGENTINO-URUGUAYA (ZCP) EN LA ERA SATELITAL (1982-2021)

Luz Clara M.[1,2a], Maenza R.A.[1], Prario B.E.[3]

[1]Instituto Nacional de Investigación y Desarrollo Pesquero (INIDEP), Paseo Victoria Ocampo Nº1, Escollera Norte, Mar del Plata, Provincia de Buenos Aires, Argentina
[2]Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), CCT-Mar del Plata,11 de Septiembre 2626, Mar del Plata, Provincia de Buenos Aires, Argentina
[3]Servicio de Hidrografía Naval (SHN), Argentina, Av. Montes de Oca 2124, Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina

ANALYSIS OF MARINE HEATWAVES IN THE REGION OF THE COMMON FISHING ZONE (ZCP) SHARED BY ARGENTINA AND URUGUAY BASED ON OBSERVATIONS FROM THE SATELLITE ERA (1982-2021)

Summary: Events characterized by elevated sea surface temperature (SST), known as marine heatwaves (MHW), usually have an impact on biodiversity patterns and ecosystems, by inducing rapid environmental changes and impacting the habitat of diverse species. MHWs can be defined as anomalously warm and discrete events lasting five or more consecutive days. Given that MHWs are generally a consequence of high air temperature, impacts are typically limited to the upper water column, and the degree of ecosystem disturbance varies according to the temperature magnitude reached, event duration, frequency, or combinations thereof. This study analyzed the interannual variability of MHWs across different seasons within the ZCP for the period 1982-2021, examining gridded data from the second version of the NOAA Reynolds Optimum Interpolation Sea Surface Temperature dataset (OISST v2), derived from a combination of satellite observations and *in situ* (research vessels, buoys, etc.) sampling. A daily temporal resolution and a spatial resolution of 0.25º latitude by longitude were employed. The study identified areas with statistically significant linear trends for several quantitative indices of duration and the intensity of these events, revealing an increase in these parameters, mainly during austral spring (October through December) and austral summer (January through March) seasons, across a substantial portion of the ZCP, particularly since the beginning of 2000.

Key words: Marine Heatwaves, spatial variability, ZCP.

Resumen: Los eventos de elevada temperatura superficial del mar, conocidos como olas de calor marinas (OCM), suelen afectar los patrones de biodiversidad y los ecosistemas ya que pueden causar cambios rápidos en el ambiente e impactar en el hábitat de diferentes especies. Las OCM se pueden definir como eventos anómalamente cálidos y discretos, que duran un tiempo de cinco o más días consecutivos. Dado que las OCM son, en general, una consecuencia de la alta temperatura del aire, los impactos generalmente se limitan a la parte superior de la columna de agua, y el grado de afectación de un ecosistema varía según el valor de temperatura que alcancen, la duración del evento, su frecuencia o combinaciones de dichos factores. En este trabajo se realizó un análisis de la variabilidad interanual de las OCM en las distintas estaciones del año sobre la Zona Común de Pesca Argentino-Uruguaya (ZCP) para el período 1982-2021, analizando datos grillados de la segunda versión de la base de datos de Reynolds (OISST.v2) de la NOAA, elaborada a partir de la combinación de observaciones satelitales e *in-situ* (barcos, boyas, etc.). Se trabajó con una resolución temporal diaria y una resolución espacial de 0,25° latitud x longitud. El estudio comprende la identificación de zonas con tendencias lineales estadísticamente significativas para diversos índices cuantitativos de la duración y la intensidad de estos eventos, evidenciando un incremento de dichos parámetros, especialmente para las temporadas octubre-diciembre y enero-marzo, sobre gran parte de la ZCP, particularmente desde comienzos del año 2000.

Palabra clave: Olas de Calor Marinas, Variabilidad espacial, ZCP.

INTRODUCCIÓN

Los eventos de olas de calor marinas (OCM) suelen afectar los patrones de biodiversidad y los ecosistemas, ya que pueden causar cambios rápidos e impactar en el hábitat de diferentes especies. Las OCM se pueden definir como eventos anómalamente cálidos y discretos, con temperaturas superiores al percentil 90 (es decir, el 10% de las temperaturas más altas registradas) durante al menos 5 días consecutivos (Hobday et al. 2016). El grado de afectación de un ecosistema varía según su capacidad de adaptación y las características de la OCM (el valor de temperatura que alcancen, la duración del evento y su frecuencia). Dado que las OCM son, en general, una consecuencia de la alta temperatura del aire, los impactos suelen limitarse a la parte

[a] mluzclara@inidep.edu.ar

superior de la columna de agua (Sen Grupta et al. 2020), aunque estudios recientes indican que estas anomalías positivas en la temperatura del mar pueden residir en el océano subsuperficial sin ninguna huella en la temperatura superficial del mar (TSM; Sun et al. 2023). En los últimos 40 años, las OCM han experimentado un aumento global en la duración, la intensidad, la frecuencia y la extensión espacial (Oliver et al. 2018; Frölicher & Laufkötter 2018). Esta tendencia ha sido ampliamente estudiada a nivel regional en diferentes áreas del océano global, como el Mar Mediterráneo (Simon et al. 2023) y el Océano Atlántico Sudoccidental sobre la costa uruguaya (Manta et al. 2018). Sin embargo, aún es necesario actualizar los registros de ocurrencia para comprender posibles cambios y sus consecuencias.

Sobre la base de estas evidencias, y el bajo número de estudios similares en la región de la ZCP, surge la necesidad de avanzar en el conocimiento de las OCM a nivel regional. En este trabajo se realizó un análisis de la variabilidad interanual de las OCM en las distintas estaciones del año sobre la ZCP y área adyacente, en el período 1982-2021. El estudio incluye la identificación de zonas con tendencias lineales estadísticamente significativas para diversos índices descriptores de la duración e intensidad de estos eventos.

DATOS

Para el desarrollo de los índices descriptivos de las OCM se utilizaron estimaciones diarias globales de la TSM obtenidas de la segunda versión de la base de datos *Optimum Interpolation Sea Surface Temperature* (OISST.v2; Reynolds *et al.*, 2007; Huang *et al.*, 2020), elaboradas a partir de la combinación de TSM *in-situ* (barcos, boyas y flotadores Argo) y TSM derivados del radiómetro avanzado de alta resolución (AVHRR, *Advanced Very High Resolution Radiometer*) a bordo de los satélites de órbita polar NOAA-7, NOAA-9, NOAA-11 y NOAA-14, de la *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA). La resolución espacial utilizada es de 0,25° latitud x longitud. El área de estudio está comprendida entre las longitudes 63° y 49,5° O, y las latitudes 40,5 y 33,5° S, en profundidades inferiores a los 4000m. Para determinar la profundidad en el área de interés se utilizó la grilla batimétrica producida por el *General Bathymetric Chart of the Oceans* (GEBCO *compilation group*, 2020), con una resolución espacial de 15 segundos de arco, la cual fue interpolada linealmente con triangulación a la grilla de OISST.v2.

METODOLOGÍA

Detección de OCM

Las anomalías diarias fueron calculadas respecto a una climatología diaria considerando ventanas de 11 días centradas en cada día del año para disminuir las incertidumbres asociadas a la variabilidad de alta frecuencia El período base de la climatología abarca los años 1991-2020. De esta manera, la climatología diaria de cada día del año fue calculada a partir de 330 registros diarios (11 días x 30 años).

Las OCM fueron identificadas según el criterio de Hodbay et al. (2016), quienes las definen como eventos en los cuales las anomalías positivas de temperatura diaria son superiores al percentil-90 durante al menos 5 días consecutivos. Dichos eventos pueden sufrir interrupciones no mayores a dos días, caso contrario se considera la finalización de la OCM.

Las estaciones del año consideradas en este trabajo fueron definidas como: verano, de enero a marzo (EFM); otoño, de abril a junio (AMJ); invierno, de julio a septiembre (JAS); y primavera, de octubre a diciembre (OND).

Índices utilizados para describir la variabilidad de las OCM

Con el fin de realizar el análisis de la tendencia interanual de cada estación del año para cada índice y cada nodo del área estudiada, se estimaron los valores medios de: (i) la duración de los eventos (I_D [días]); (ii) la temperatura media (I_{mean} [°C]); (iii) la temperatura máxima (I_{max} [°C]); y (iv) la temperatura mínima (I_{min} [°C]). Los valores de tendencia lineal fueron estudiados mediante la regresión lineal de cuadrados mínimos (Wilks, 2006). La significancia estadística de las tendencias fue analizada mediante los tests de regresión lineal (paramétrico; Wilks 2006) y Mann-Kendall (no paramétrico; Mann, 1945) con un nivel de significancia del 99%.

RESULTADOS

Los resultados del análisis de las tendencias interanuales para cada estación del año e índice descriptivo de las características de las OCM son mostrados en la Figura 1, en la que, por conveniencia, se presentan los incrementos decadales.

El análisis de las tendencias de los promedios estacionales de la duración (I_D) y las temperaturas máximas (I_{max}), mínima (I_{min}) y media (I_{mean}) reflejaron mayoritariamente incrementos sobre el área de estudio, para las cuatro estaciones del año. Observando las tendencias de I_D sobre la ZCP, se identifica un patrón general con mayores valores en plataforma externa y regiones costeras/estuarinas, e intensidades menores entre las anteriores (región de plataforma media). Las mayores tendencias significativas de I_D se observaron en primavera sobre la plataforma externa, mientras que los valores mínimos ocurrieron en invierno y resultaron no significativos. Las tendencias I_{mean} e I_{max} muestran, en general, patrones espaciales similares con valores altos de tendencia significativos sobre plataforma externa, especialmente en otoño, valores menos intensos y significativos en la zona estuarina y costas uruguaya y bonaerense, y tendencias no significativas en invierno, sobre la plataforma media. Las tendencias I_{min} muestran un patrón similar a los índices anteriores, pero con tendencias más débiles.

Para determinar la existencia de posibles cambios en la intensidad de las tendencias durante el período estudiado se promediaron las series temporales de los índices en aquellos nodos con tendencias significativas. Los índices promedio pueden observarse en la Figura 2, donde se advierte un marcado incremento en todos éstos desde comienzos del año 2000.

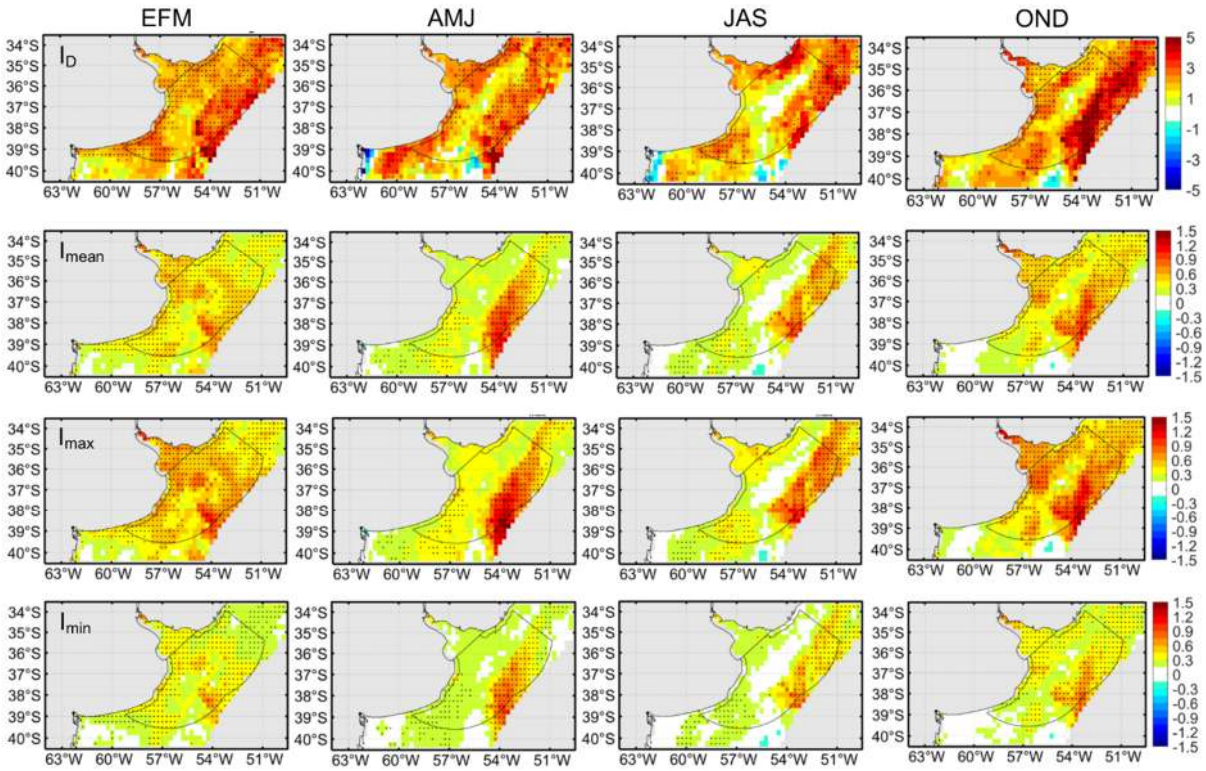

Figura 1. Tendencias decadales contenidas en los índices de valores medios (de arriba hacia abajo) de: la duración de los eventos (I_D [días]); la temperatura media (I_{mean} [°C]); la temperatura máxima (I_{max} [°C]); y la temperatura mínima (I_{min} [°C]); para las distintas estaciones del año, acomodadas cronológicamente de izquierda a derecha, comenzando por el verano (EFM) y finalizando con la primavera (OND). La Zona Común de Pesca (ZCP) está delimitada mediante una línea negra continua. El sombreado blanco corresponde a las zonas enmascaradas (región continental y profundidades superiores a 4000m). Los nodos con tendencias estadísticamente significativas están indicados con puntos.

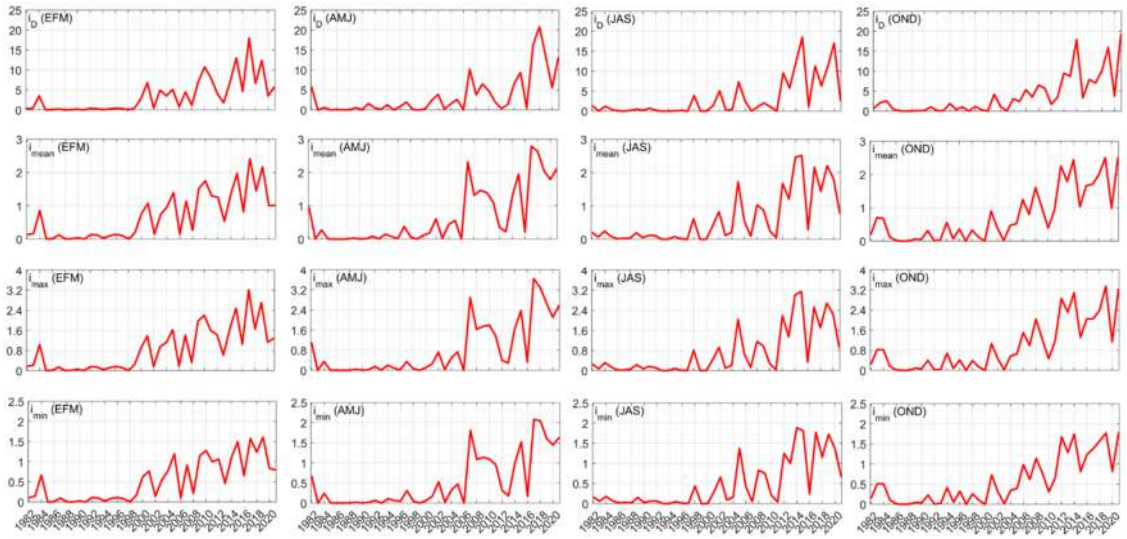

Figura 2. Series temporales (para el período 1982 – 2021) de promedios entre nodos con tendencia lineal estadísticamente significativa, para los distintos índices OCM (valores medios de: la duración de los eventos (I_D [días]); la temperatura media (I_{mean} [°C]); la temperatura máxima (I_{max} [°C]); y la temperatura mínima (I_{min} [°C]), de arriba hacia abajo) en las estaciones del año definidas y mostradas cronológicamente de izquierda a derecha, comenzando por el verano (EFM) y finalizando con la primavera (OND).

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Las OCM son eventos de calentamiento oceánico extremo que pueden tener consecuencias potencialmente devastadoras en los ecosistemas marinos e impactos negativos en la economía industrial pesquera (Marin et al. 2021; Oliver et al. 2021; Smith et al. 2023) y turística. El incremento en las TSM sobre diversas regiones oceánicas, como producto el cambio global, sugieren, a futuro, una mayor recurrencia e intensidad de las OCM, aumentando así el riesgo de sustentación de los ecosistemas marinos (Oliver et al. 2018).

La ZCP se encuentra ubicada en el sudoeste del Atlántico Sur, una región identificada como "*hotspot*", es decir, un área que experimenta un calentamiento más acentuado que las regiones adyacentes (Hobday et al. 2016). Manta et al. (2018) encontraron que sobre el sudoeste de la plataforma continental del Atlántico Sur (32° - 38° S), entre los años 1988 y 2017, más de la mitad de los días correspondientes a eventos de OCM tuvieron lugar desde el año 2014, detectándose el evento más extremo durante el verano austral de 2017, cuando en la ciudad de Montevideo (Uruguay) se registró la mortandad de peces y un florecimiento anómalo de algas, generando el cierre de playas recreacionales durante algunos días. En el presente trabajo se ha encontrado que las OCM pueden ocurrir indistintamente a lo largo de todo el año. En todas las estaciones del año y en todos los índices analizados, las tendencias estadísticamente significativas solo se corresponden con valores positivos de intensidad y duración, sugiriendo el incremento en la duración (I_D) e intensidad (I_{mean} e I_{max}) de los eventos. Dichos incrementos parecen darse particularmente desde comienzos del año 2000. Los mayores cambios en la intensidad y duración de las OCM fueron observados sobre la plataforma externa en latitudes de la zona de la Confluencia Brasil-Malvinas y, en menor medida, sobre el sudeste de la provincia de Buenos Aires y el Río de la Plata y su desembocadura.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Frölicher TL, Laufkötter C, (2018). Emerging risks from marine heat waves. Nature Communications, 9 (1), 650, doi:10.1038/s41467-018-03163-6.

GEBCO Bathymetric Compilation Group, (2020). The GEBCO_2020 Grid, a continuous terrain model of the global oceans and land. British Oceanographic Data Centre, National Oceanography Centre, NERC, UK, https://doi.org/10/dtg3.

Hobday AJ, Alexander LV, Perkins SE, Smale DA, Straub SC, Oliver EC, y otros, (2016). A hierarchical approach to defining marine heatwaves. Progress in Oceanography, 141, 227-238.

Huang B, Liu C, Banzon V, Freeman E, Graham G, Hankins B, Smith T, Zhang HM, (2020). Improvements of the Daily Optimum Interpolation Sea Surface Temperature (DOISST) Version 2.1, Journal of Climate, 34, 2923-2939. doi: 10.1175/JCLI-D-20-0166.1

Mann HB, (1945). Non-parametric tests against trend: Econometrica v. 13.

Manta G, De Mello S, Trinchin R, Badagian J, Barreiro M, (2018). The 2017 record marine heatwave in the Southwestern

Atlantic shelf. Geophysical Research Letters. 45 (12): 449–456. doi.org/10.1029/2018GL081070.

Marin M, Bindoff NL, Feng M, Phillips HE, (2021). Slower long-term coastal warming drives dampened trends in coastal
marine heatwave exposure. Journal of Geophysical Research: Oceans, 126, e2021JC017930. https://doi.org/10.1029/2021JC017930.

Oliver ECJ, Donat MG, Burrows MT, Moore PJ, Smale DA, Alexander LV, Benthuysen JA, Feng M, Sen Gupta A, Hobday AJ y otros, (2018). Longer and more frequent marine heatwaves over the past century. Nature communications, 9(1), 1-12.

Oliver ECJ, Benthuysen JA, Darmaraki S, Donat MG, Hobday AJ, Holbrook NJ, Schlegel RW, Sen Gupta A, (2021). Marine heatwaves. Annu. Rev. Mar. Sci., 13, 313–342, https://doi.org/10.1146/annurev-marine-032720-095144.

Reynolds RW, Smith TM, Liu C, Chelton DB, Casey KS, Schlax MG, (2007). Daily high-resolution-blended analyses for sea surface temperature J. Clim. 20 5473–96.

Sen-Gupta A, Thomsen M, Benthuysen JA y otros, (2020). Drivers and impacts of the most extreme marine heatwave events. Sci Rep 10, 19359. https://doi.org/10.1038/s41598-020-75445-3

Simon A, Pires C, Frölicher TL, Russo A, (2023). Long-term warming and interannual variability contributions to marine heatwaves in the Mediterranean. Weather and Climate Extremes. Volume 42,2023,100619, ISSN 2212-0947. https://doi.org/10.1016/j.wace.2023.100619.

Smith KE, y otros, (2023): Biological impacts of marine heatwaves. Annu. Rev. Mar. Sci., 15, 119–145, https://doi.org/10.1146/annurev-marine-032122-121437.

Sun D, Furong L, Zhao J, Shijian H, Bohai Z, (2023). Frequent marine heatwaves hidden below the surface of the global ocean. Nature Geoscience. https://doi.org/10.1038/s41561-023-01325-w.

Wilks DS, (2006). Statistical Methods in the Atmospheric Sciences. Elsevier: Oxford, UK, 628 pp.

Este trabajo debe citarse como:

Luz Clara M., Maenza R.A., Prario B.E. (2025). Análisis de olas de calor marinas en la Zona Común de Pesca Argentino-Uruguaya (ZCP) en la era satelital (1982-2021). Contr. XIX Simposio Científico de la CTMFM – Colonia, Uruguay. Noviembre 2022. Frente Marítimo 27: 22-25.