

NUEVA CLIMATOLOGÍA DE CICLONES EXTRATROPICALES EN EL MAR ARGENTINO Y SU IMPACTO EN LA SEGURIDAD NÁUTICA

Julietta Camila Arce¹, María Paula Llano^{2,3} y Alvaro Santiago Scardilli¹

jcarce@armada.mil.ar

¹Departamento Meteorología, Servicio de Hidrografía Naval (SHN)

²Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires

³Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)

Palabras claves: ciclones extratropicales, Atlántico Sur, seguridad náutica

1) INTRODUCCIÓN

Los ciclones extratropicales (CE) son sistemas clave en la dinámica atmosférica de latitudes medias, responsables de una amplia variedad de fenómenos meteorológicos sinópticos tanto sobre continentes como sobre océanos. Su impacto en el entorno marino incluye vientos y ráfagas intensas, oleaje elevado, ondas de tormenta; entre otras condiciones que representan un riesgo significativo para la navegación y la seguridad náutica (Gramscianinov et al., 2019). Este peligro ha sido reconocido por organismos internacionales como la Organización Meteorológica Mundial (WMO, 2022) y la Organización Marítima Internacional, que destacan la necesidad de fortalecer el conocimiento en meteorología marina para mejorar la seguridad y la planificación de rutas marítimas. En el océano Atlántico Sudoccidental, y en particular sobre el Mar Argentino, los CE constituyen una amenaza recurrente. Estudios previos han mostrado discrepancias sobre la estacionalidad y localización de estos sistemas, muchas veces atribuibles a diferencias en las fuentes de datos, metodologías de identificación y criterios de clasificación. A pesar de ello, existe consenso en cuanto a que la región generadora de ciclones se encuentra al este de Sudamérica y al predominio de estos fenómenos entre los 35°S y 60°S.

El objetivo principal de este trabajo es construir una nueva climatología de CE en la región, utilizando un algoritmo automatizado sobre datos de reanálisis, orientado a la caracterización de distintos aspectos clave como zonas de ciclogénesis, trayectorias típicas, duración y tasa de profundización; con especial atención a aquellas características que implican riesgos para la navegación. Este abordaje permitirá contribuir al entendimiento regional de los CE y proporcionar herramientas para desarrollar estrategias de prevención y mitigación de riesgos en el ámbito náutico.

2) DATOS Y METODOLOGÍA

Para este estudio se utilizan datos del Reanálisis-2 del NCEP (National Center of Environmental Prediction)/ DOE (Department of Energy) (Kanamitsu et al., 2002), para el período 1979-2022, en toda la zona de responsabilidad nacional de la seguridad náutica comprendida entre las latitudes 20°S y 80°S, y longitudes 80°O a 0°. Se utilizaron los datos de presión a nivel del mar, viento zonal y meridional (estos últimos a 10 m); en intervalos de 6 horas y distribuidos espacialmente en una retícula de 2,5° x 2,5°. Además, para un análisis posterior, se incorporó una base de datos proporcionada por la Prefectura Naval Argentina que contiene registros de naufragios ocurridos en el Mar Argentino entre 1983 y 2017.

El algoritmo implementado para detectar CE sigue al descrito por Blender et al. (1997) y Trigo et al. (1999), y más recientemente adaptado por Mendes et al. (2010). Las trayectorias de los ciclones se realizan con un enfoque lagrangiano, utilizando la metodología *nearest*

neighbour, como en los trabajos mencionados. Una vez identificadas las trayectorias, sólo se utilizan aquellas que duraron 24 horas o más, con el fin de evitar el registro de eventos débiles (Gan y Rao, 1991; Trigo, 2005). Las trayectorias son filtradas para eliminar aquellas que corresponden exclusivamente a regiones continentales, evitando clasificar como ciclones del Mar Argentino a sistemas que no cumplen con los criterios oceánicos necesarios.

3) RESULTADOS

A partir de los criterios detallados previamente, se detectaron un total de 8870 ciclones a lo largo de los 44 años analizados, con una mayor ocurrencia durante el otoño y el invierno. Como ejemplo representativo de los resultados obtenidos en esta climatología, la Figura 1 muestra la distribución de densidad de ciclogénesis para cada estación. Esta representación permite identificar con claridad los núcleos asociados a regiones de mayor inicio de actividad ciclónica. En invierno, el primer núcleo se localiza sobre la región costera de Argentina, Uruguay y el sur de Brasil, mientras que el segundo y tercer núcleo se sitúan al sur de la isla Grande de Tierra del Fuego, el pasaje Drake y las primeras islas de la península Antártica. En el resto de las estaciones, la ubicación de las regiones más activas permanece relativamente constante, aunque en verano se observa un leve desplazamiento hacia el norte.

Adicionalmente, se definió un umbral de severidad relevante para la seguridad náutica, considerando un viento horizontal a 10 metros igual o superior a 35 nudos. Los ciclones cuyas trayectorias completas presentaron vientos iguales o mayores a este valor fueron seleccionados para estudiar de manera similar, y los máximos de densidad en este caso se concentran sobre el océano Atlántico, con variaciones estacionales en el área de influencia. Particularmente en el invierno se observa un patrón distintivo, con trayectorias más próximas al continente y un máximo de densidad desplazado hacia la costa, lo que indica una mayor cercanía de estos eventos severos a áreas continentales durante esta estación.

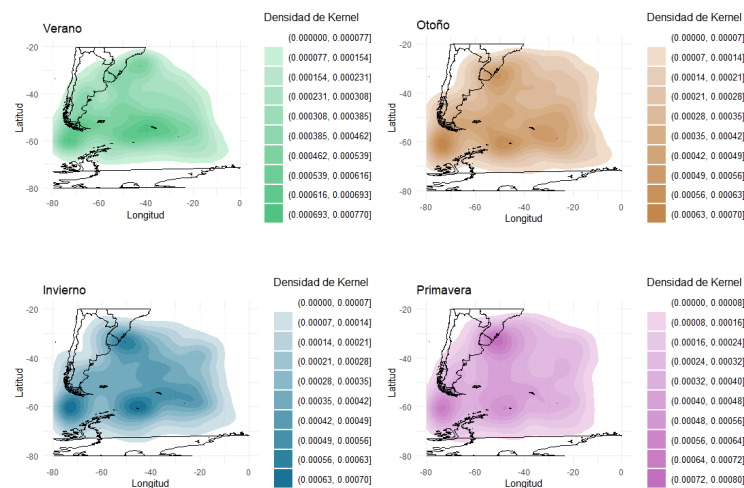


Figura 1: Densidad de ciclogénesis, por estación para el periodo de 44 años.

Para vincular los CE con situaciones concretas de riesgo para la navegación, en la Figura 2 se presentan las ubicaciones de los naufragios informados por la Prefectura Naval, los cuales fueron inspeccionados manualmente en los campos sinópticos y vinculados a la climatología de CE previamente elaborada. Del total de los 102 eventos registrados, se identificaron 33 casos con posible vinculación a CE. La distribución estacional de estos casos muestra una mayor incidencia durante el verano y el invierno, y se concentran principalmente sobre la costa patagónica, una región que, según los resultados previos, presenta una elevada frecuencia de trayectorias ciclónicas.

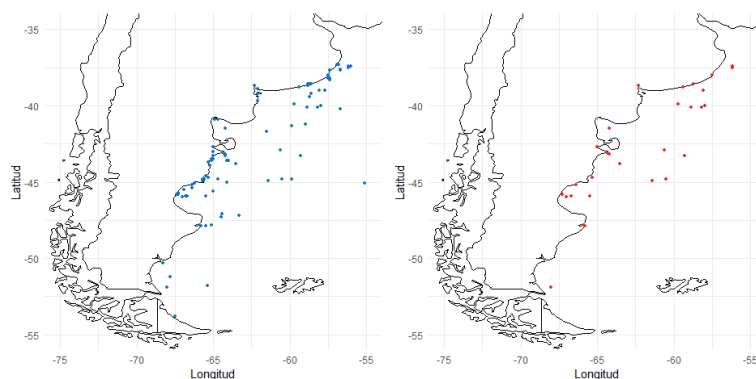


Figura 2: Distribución de los hundimientos registrados por Prefectura Naval Argentina entre 1983 y 2017. En el panel izquierdo todos los casos informados, y en el derecho aquellos que pudieron estar afectados por un CE.

4) CONCLUSIONES

En este estudio se analizaron diversos aspectos climatológicos de los CE en el Mar Argentino y en el océano Atlántico Sudoccidental. El análisis temporal reveló un comportamiento determinístico con un aumento en la frecuencia anual de CE en el invierno, verano y otoño en el período estudiado. Además, se observó una variabilidad interanual, la cual podría estar influenciada por teleconexiones como la Oscilación Antártica y el fenómeno El Niño-Oscilación del Sur. Desde una perspectiva espacial, y en concordancia con estudios previos, se identificaron tres áreas preferenciales de ciclogénesis previamente mencionadas. En cuanto a los tiempos de vida se observaron casos de hasta 8 y 9 días. El análisis de las distancias recorridas reveló, entre otras características, que el invierno tiene el caso de mayor distancia, con 8090 km. En cuanto a la profundización, se determinó que la mayoría de los eventos tienen un máximo de -2 a -4 hPa/6h. No obstante, se observaron ciclones con profundizaciones más intensas, llegando hasta -18 hPa/6h.

Considerando el umbral de viento definido, los valores extremos se registraron en invierno, y la localización de los casos de mayor impacto fue detallada en Resultados. Aunque los naufragios asociados a CE no representan la mayoría de los casos, es importante destacar que su clasificación se basó exclusivamente en esta climatología desarrollada y en la información disponible para cada evento. Varios de estos incidentes estuvieron vinculados a CE intensos y a zonas propensas al desarrollo de estos sistemas. Por ello, el conocimiento climatológico y geográfico de los CE resulta fundamental para la toma de decisiones, la preparación de los buques ante eventos severos y la mejora de la adaptación de la actividad marítima.

REFERENCIAS

- Blender, R., Fraedrich, K., Lunkeit, F., 1997:** Identification of cyclone track regimes in North Atlantic. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, vol. 123, no 539, p. 727-741.
- Gan, M.A., y Rao, V.B., 1991:** Surface Cyclogenesis over South America. Monthly Weather Review. 119, 1293-1302.
- Gramscianinov, C. B., Hodges, K. I., & Camargo, R. D., 2019:** The properties and genesis environments of South Atlantic cyclones. Climate Dynamics, 53, 4115-4140.
- Kanamitsu M., Ebisuzaki W., Woollen J., Yang S-K., Hnilo J. J., Fiorino M., y Potter G. L., 2002:** NCEP-DOE AMIP-II Reanalysis (R-2). Bulletin of the American Meteorological Society, 1631-1643.
- Mendes, D., Souza, E. P., Marengo, J. A., & Mendes, M. C., 2010:** Climatology of extratropical cyclones over the South American-southern oceans sector. Theoretical and applied climatology. 100, 239-250.
- Trigo, I. F., Davies, T. D., Bigg, G. R., 1999:** Objective climatology of cyclones in the Mediterranean region. Journal of climate, vol. 12, no 6, p. 1685-1696.
- Trigo, I. F. 2005:** Climatology and interannual variability of storm-tracks in the Euro-Atlantic sector: a comparison between ERA-40 and NCEP/NCAR reanalyses. Climate Dynamics, 2006, vol. 26, no 2, p. 127-143.
- World Meteorological Organization, 2022:** Maritime Forecasting, Meteorology and WMO: History and Evolution. MMO Series No. 4, Geneva.