

Modelado de olas en el litoral argentino: ¿se pueden mejorar los pronósticos?

Guadalupe Alonso ^(1,2,3), Walter C. Dragani ^(1,2,3), Matías G. Dinápoli ^(2,3,4) y Claudia G. Simionato CG ^(2,3,4).

(1) Departamento de Oceanografía - Servicio de Hidrografía Naval (SHN/MINDEF), Buenos Aires, Argentina. (2) Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos (DCAO/FCEN-UBA), Buenos Aires, Argentina. (3) Centro de Investigaciones del Mar y la Atmósfera (CIMA/CONICET-UBA), Buenos Aires, Argentina. (4) Laboratorio Internacional de Investigación Instituto Franco-Argentino para el Estudio del Clima y sus Impactos (IRL IFAECI/ CNRS-IRD-CONICET-UBA).

El diagnóstico y pronóstico del estado del mar, en particular del oleaje, es de vital importancia para las actividades marítimas y costeras a lo largo del litoral marítimo y Río de la Plata de nuestro país. Para producir esta información, es necesaria la implementación de modelos numéricos. En este trabajo se utiliza el modelo espectral de olas WAVEWATCH III (WW3) v7.14. Se presenta la arquitectura utilizada, junto con las evaluaciones realizadas respecto a la extensión y resolución de dominios, términos fuente y representación de obstrucciones sub-escala. Se encontró que la representación óptima del oleaje en la Plataforma Continental Argentina (PCA) no requiere incluir una grilla de cobertura global, sino que alcanza con una grilla centrada en Sudamérica que incluye parte del Océano Pacífico. Los resultados de la comparación con observaciones muestran métricas satisfactorias para altura significativa, período y dirección de olas.

Palabras clave: modelado de olas, estado del mar, litoral argentino.

INTRODUCCIÓN:

El diagnóstico y pronóstico del estado del mar, en particular del oleaje, es de vital importancia para las actividades marítimas y costeras a lo largo del litoral marítimo y Río de la Plata de nuestro país. Debido a la extensión, la dinámica y la complejidad de los ambientes marinos la producción de esa información sólo puede resolverse mediante el uso extensivo de modelos físico-matemáticos (numéricos) combinados con las (usualmente escasas) observaciones disponibles; estos sistemas son capaces de producir operativamente datos sobre las condiciones presentes (*nowcasts*), futuras (pronósticos) y pasadas (*hindcasts* y reanálisis) de oleaje. Existen actualmente productos globales que proveen un panorama inicial de las condiciones del oleaje, pero las comparaciones con observaciones directas muestran que tienen aún limitaciones para representar el oleaje del litoral argentino (Salimbeni et al., 2024). Las implementaciones regionales de modelos numéricos son necesarias y el primer paso de las mismas es la definición de la arquitectura de modelado a utilizar para representar adecuadamente los parámetros principales de oleaje (altura, periodo y dirección). En este trabajo se presentan los resultados de la primera etapa en la implementación de un sistema de modelado de olas usando el modelo espectral WAVEWATCH III (WW3) v7.14 (Tolman, 2009) en la Plataforma Continental Argentina (PCA).

METODOLOGÍA:

Se realizan simulaciones numéricas de olas utilizando el modelo espectral WW3 implementando una arquitectura de grillas regulares anidadas de manera tradicional. Esto es, las condiciones de borde de una grilla se obtienen de las simulaciones de la grilla que la contiene (grilla madre). En todos los casos, el forzante atmosférico proviene del reanálisis CFSRv2 (Sasha et al., 2014) y la batimetría de GEBCO (GEBCO 2023). Los dominios utilizados en las diferentes arquitecturas evaluadas, junto con su extensión y su resolución se presentan en la Figura 1.

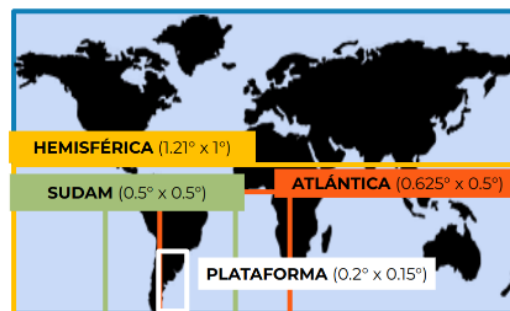


Figura 1: Extensión y resolución de las grillas regulares utilizadas para la implementación del modelo.

La definición de la extensión de los dominios a utilizarse, la resolución de los mismos y el origen de las condiciones de borde es un paso crítico en el diseño de la arquitectura a implementar. Teniendo en vista la implementación operativa de un sistema de modelado, es importante encontrar el diseño que dé una representación satisfactoria del oleaje en la región optimizando el tiempo de cómputo necesaria para realizarla. Para cuantificar las diferencias, en este trabajo se realizaron simulaciones considerando escenarios en dónde las condiciones de borde de la grilla PLATAFORMA (Figura 1) provienen de distintos niveles de anidamiento. Los escenarios considerados se describen en la Tabla 1.

Nombre	Dominio	Condiciones de borde
e_1	PLATAFORMA	ATLANTICA<HEMISFERICA<GLOBAL
e_2	PLATAFORMA	ATLANTICA<HEMISFERICA
e_3	PLATAFORMA	ATLANTICA
e_4	PLATAFORMA	SUDAM<HEMISFERICA
e_5	PLATAFORMA	SUDAM
e_6	PLATAFORMA	

Tabla 1: Escenarios utilizados para evaluar la extensión de las grillas a incluir para las condiciones de borde.

El modelo WW3 incluye una metodología para incluir en el esquema numérico de resolución del oleaje la representación de los efectos de obstáculos no resueltos. Dichos obstáculos, por lo general grupos de islas, han mostrado ser una fuente de error en los modelos regionales de (Tolman 2009). Para incluir este efecto, se debe incluir una “grilla de obstrucción”

Nombre	Dominio	Condiciones de borde
o_1	ATLANTICO sin obstrucciones	HEMISFERICA sin obstrucciones
o_2	ATLANTICO sin obstrucciones	HEMISFERICA con obstrucciones
o_3	ATLANTICO con obstrucciones	HEMISFERICA con obstrucciones
o_4	ATLANTICO con obstrucciones	HEMISFERICA con obstrucciones

Tabla 2: Escenarios utilizados para evaluar el efecto de las obstrucciones sub representadas en las grillas de menor resolución.

que indique cuáles celdas tendrán un factor de moderación del flujo de energía en la propagación, de qué magnitud será el mismo y para qué direcciones. Esa grilla se construye utilizando la base global de límites GSHHS de alta resolución. Se realizaron simulaciones en diferentes escenarios incluyendo o no las

obstrucciones sub-grilla con el fin de cuantificar el efecto de las mismas en el oleaje de la PCA. Los escenarios considerados se describen en la Tabla 2.

Para cuantificar la bondad de la representación del oleaje obtenido mediante la simulación numérica es necesario contrastar los parámetros simulados con parámetros observados. En la región PCA es notable la escasez de observaciones in-situ, en dónde registros modernos (últimos 10 años) de altura, periodo y dirección del oleaje pueden encontrarse en pocos sitios. En este trabajo se utilizan datos tomados en un punto del océano atlántico (Boya Atlántica), en las cercanías de Puerto Quequén y en la región exterior del Río de la Plata. Se computan las métricas habituales para la validación de los modelos de olas: bias, correlación, error cuadrático medio.

RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Las comparaciones entre los escenarios de simulación destinados a evaluar la extensión necesaria para las grillas simuladas muestran que no considerar de borde (e_6) resultaría en olas en la PCA un 20% menores a las obtenidas considerando cualquier condición de borde. Por otro lado, no hay diferencias al comparar los parámetros obtenidos en los escenarios e_1 y e_2. Esto

prueba que no es necesario utilizar una grilla de extensión global

en la generación de las condiciones de borde para la representación del oleaje en PLATAFORMA. Al comparar los resultados obtenidos entre las simulaciones que incluyen o no la grilla HEMISFÉRICA (e_2 y e_3) se observa que las alturas de ola muestran diferencias únicamente en la región sur del dominio (Figura 2a) y lo mismo ocurre con los periodos (Figura 2b). Lo que se muestra son diferencias promedio, el análisis de la serie temporal de los campos simulados de olas muestra que esa diferencia no es constante en el tiempo, sino que toma relevancia en ciertos episodios de algunos días de duración. Con el objetivo de estudiar estos eventos se diseñó una grilla de mayor resolución y menor extensión, (SUDAM en Figura 1) que

probó ser muy efectiva en la representación de las condiciones de borde para el oleaje en la PCA. Se encontró que, para todos los parámetros que no hay diferencias entre la arquitecturas HEMISFERICA>ATLANTICA>PLATAFORMA y SUDAM>PLATAFORMA. Los escenarios en los que se evaluaron simulaciones para la grilla ATLANTICA considerando o no obstrucciones dentro del dominio y sus combinaciones para las condiciones de borde generadas desde HEMISFERIO (escenarios o_1 a o_4, Tabla 2) muestran diferencias muy localizadas a la región al sur de las Islas Malvinas y no parecen tener incidencia en el oleaje dentro de la PCA.

Las métricas de comparación con las observaciones obtenidas en la región exterior del Río de la Plata se calcularon para la altura, el periodo y la dirección de propagación. El error cuadrático medio obtenido es de 0.25 m para las alturas, 2 s para el periodo y 35° para las direcciones. El bias resultó de -0.13 m para las alturas, 0 s para el periodo y 4° para las direcciones. Estos resultados son comparables con los obtenidos con comparaciones de productos globales al estado del arte. A manera ilustrativa, se muestran los registros observados junto con los parámetros simulados para el mes de abril (Figura 3).

Los resultados expuestos en este trabajo, si bien constituyen la primera etapa, establecen las bases para la implementación de un sistema de modelado de olas regional con vistas a la mejora de los productos que se brindan, entre otras, en el Servicio de Hidrografía Naval (SHN).

BIBLIOGRAFÍA:

- GEBCO Compilation Group (2023) GEBCO 2023 Grid (doi:10.5285/f98b053b-0cbc-6c23-e053-6c86abc0af7b)
- Saha, Suranjana and Coauthors, 2014: The NCEP Climate Forecast System Version 2 Journal of Climate (J. Climate). <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-12-00823.1>
- Tolman, H. L., 2009: User manual and system documentation of WAVEWATCH III v 3.14. NOAA / NWS / NCEP / MMAB Technical Note 276, 194 pp..
- Salimbeni, A., Dragani, W., & Alonso, G. (2024). Ocean waves in the southwestern Atlantic Ocean: An evaluation of global wave models. *International Journal of Climatology*.

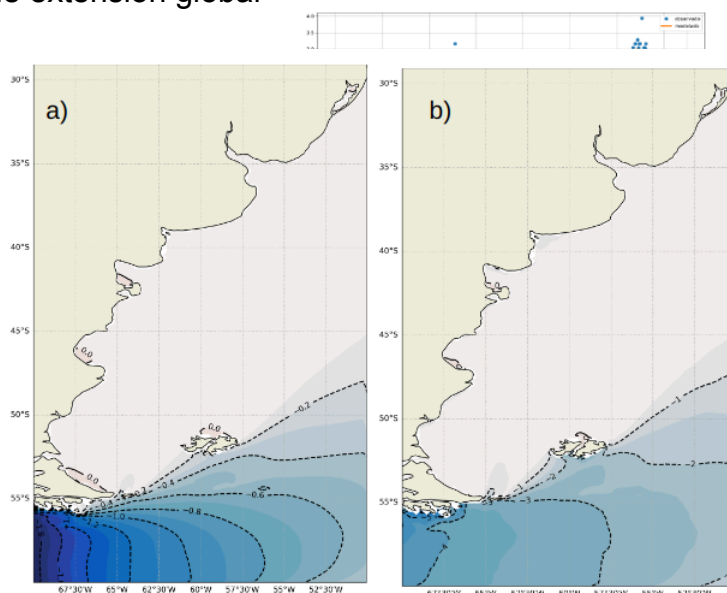


Figura 2: Diferencias medias entre simulaciones del escenario e_2 y e_3 para la altura (a) y el periodo (b) del oleaje.