

REGIONALIZACIÓN DE LOS PRODUCTOS DEL SISTEMA PARA EL MODELADO DEL MAR ARGENTINO: ANIDAMIENTO DINÁMICO

Federico N. Lillo^{1,2,3}, Matias G. Dinápoli^{1,2,3}, Claudia G. Simionato^{1,2,3}
federicolillo9@gmail.com

¹Centro de Investigaciones del Mar y la Atmósfera, CONICET-UBA

²Instituto Franco-Argentino Para el Estudio del Clima y Sus Impactos (IRL 3351 IFAECI)

³Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos, FCEN, UBA

Palabras clave: Plataforma Continental Argentina, Modelado Numérico, Pronósticos

1) INTRODUCCIÓN Y MOTIVACIONES

Debido a la extensión, la dinámica y la complejidad de los sistemas marinos la producción de esa información sólo puede resolverse mediante el uso extensivo de modelos físico-matemáticos (numéricos) combinados con observaciones (asimilación de datos), que son capaces de producir operativamente datos sobre las condiciones presentes, futuras y pasadas del estado del mar (Alvarez Fanjul, 2022). Si bien existen herramientas a escala global, tales como HYCOM (<https://hycom.org>) o MERCATOR (<http://www.mercator-ocean.fr>), la mayoría no proporcionan información apropiada para las plataformas continentales y regiones costeras y estuarios (Vousdoukas et al., 2018). Es por ello que hoy en día sigue siendo necesario desarrollar modelos regionales que, similarmente a lo que ocurre en meteorología, proporcionen información con la resolución espacial y temporal y la calidad necesarias para las aplicaciones locales y regionales.

En este contexto surgió el proyecto PIDT A5 “Pronosticando el Mar Argentino (PronoMAR)” financiado por la iniciativa interministerial “Pampa Azul” y que se ejecutó en el periodo 2023-2025. Su objetivo fue formar una red institucional de organizaciones de ciencia y técnica que desarrolle, implemente y de soporte a un sistema de pronóstico oceánico operativo en coproducción con el Servicio Meteorológico Nacional (SMN). En particular, PronoMAR se centró en el desarrollo e implementación de sistemas de pronóstico oceánicos operativos al estado del arte del nivel del mar y olas con el fin de promover la gestión y explotación sostenible de los recursos marinos en nuestro país.

Hasta el momento el proyecto cuenta con un sistema para modelado numérico, al estado del arte, para el nivel del mar y las olas denominado “Sistema para el Modelado del Mar Argentino” (SiMMAR) que fue transferido al SMN y es ejecutado de manera operativa-experimental. El modelo numérico del nivel del mar se basa en una regionalización (con una resolución promedio de 13 km) en la Plataforma Continental Argentina (PCA) del modelo de la comunidad científica Coastal and Regional Ocean COMMUNITY model (CROCO, <https://www.croco-ocean.org/>; Debreu et al., 2012) el cual, además, fue modificado para resolver el sistema de ecuaciones de aguas someras (Dinápoli y Simionato, 2025a, y referencias allí). Esta herramienta fue validada y utilizada para el estudio de los procesos físicos asociado a la componente barotrópica de la PCA y el estuario del Río de la Plata (Dinápoli y Simionato, 2025a, y referencias allí). Si bien este proyecto ha significado un gran avance en la temática del desarrollo de herramientas oceánicas operativas para la provisión de información confiable del estado de los océanos, aún es necesario generar productos que realicen un refinamiento dinámico con el fin de (i) mejorar la calidad de las soluciones

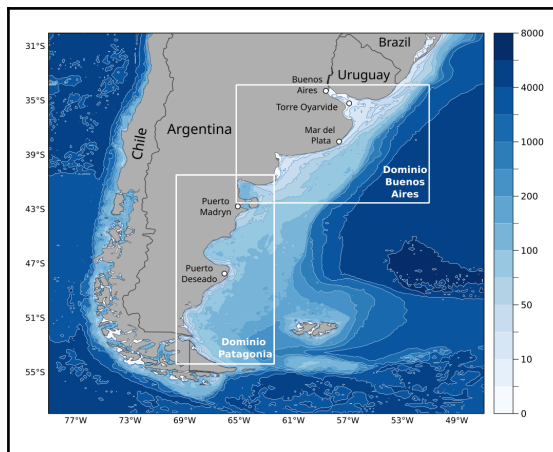


Figura 1: Dominios de Patagonia y Buenos Aires sobre los cuales se realizaron las simulaciones.

numéricas en ambientes costeros y (ii) abrir las puertas al estudio de la dinámica de procesos que ocurren en escalas regionales (por ejemplo, resonancia de cuencas). En base a esa premisa, este trabajo presenta un estudio de sensibilidad al anidamiento dinámico para la mejora de las soluciones SiMMAR sobre toda la PCA. Para ello, se propone la creación de dos dominios (con una resolución promedio de 4 km) que se focalizan en la región patagónica y la costa bonaerense (Figura 1). La elección de estas regiones se hizo en base a los resultados obtenidos por Dinápoli y Simionato (2025b), quienes demostraron que al sur la dinámica barotrópica es prácticamente marea, mientras que al norte es una combinación entre la marea y el efecto meteorológico.

2) RESULTADOS Y CONCLUSIONES

En primer lugar se estudió la sensibilidad ante la información batimétrica y los límites del dominio. Dado que estos son parámetros que determinan la dinámica de marea (la dinámica más robusta y de base) se procedió a analizar soluciones del dominio patagónico. En primer lugar se evaluó la sensibilidad ante la precisión del dato batimétrico en base a dos simulaciones, una con información batimétrica brindada por GEBCO (<https://www.gebco.net/>) y otra teniendo en cuenta una batimetría derivada a partir de datos de GEBCO para profundidades mayores a 200 metros y digitalización de cartas náuticas en plataforma. Además, se estudió la sensibilidad ante la posición del borde sur ya que es por donde entran las ondas atrapadas por la costa, cuya dinámica es compleja ya que ocurre un salto batimétrico y un angostamiento de la cuenca. El análisis, así, se basa en la intercomparación de estadísticos que permiten intercomparar objetivamente las cuatro simulaciones.

Se obtuvieron soluciones óptimas al considerar un límite inferior sobre la PCA. Esto se debe a que se evita el fuerte cambio batimétrico y no se pierde energía de marea por cuestiones numéricas. En cuanto a la sensibilidad al dato batimétrico, la Figura 2

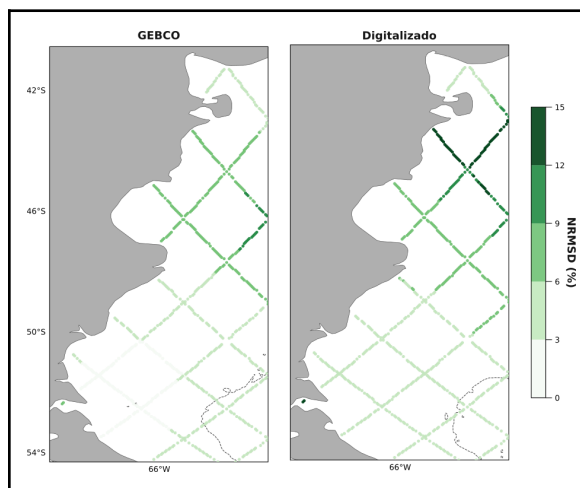


Figura 2: Error porcentual (NRMSE, %) obtenido para un año de simulaciones considerando la batimetría de GEBCO (panel izquierdo) y la proveniente de cartas náuticas digitalizadas.

muestra la comparación del error porcentual (NRMSE) entre las soluciones numéricas con la batimetría derivada de datos de la base GEBCO (izquierda) y lo de combinación de datos con cartas náuticas (derecha). Las soluciones fueron contrastadas contra series sintéticas de marea

derivadas de datos altimétricos (<https://www.legos.omp.eu/ctoh/ctoh-products/>). La Figura 2 muestra que el error porcentual es, en general, menor al incorporar los datos de GEBCO, por lo cual se concluyó que esta es la mejor opción a la hora de realizar simulaciones al menos en esta escala. Por consistencia, el dominio para la costa bonaerense fue construido con esta base de datos.

La Figura 3 muestra la comparación entre las simulaciones de los modelos anidados y observaciones directas del nivel del mar en distintas estaciones a lo largo de la PCA para abril de 2018. A partir de la comparación de un año de soluciones horarias se obtuvo un error cuadrático medio promedio de 0,30 m (aprox. un error de 5,4%) y una correlación lineal de 0,97 metros para Puerto Deseado y Puerto Madryn (dominio patagónico), mientras que para Mar del Plata, Buenos Aires y Torre Oyarvide el RMSE promedio fue 0,12 m (aprox. un error de 8,2%) y la correlación lineal fue 0,90. Si se lo compara con los valores reportados por Dinápoli y Simionato (2025a), se tiene una reducción del error en un 15%, lo que respalda esta aplicación de anidamiento dinámico.

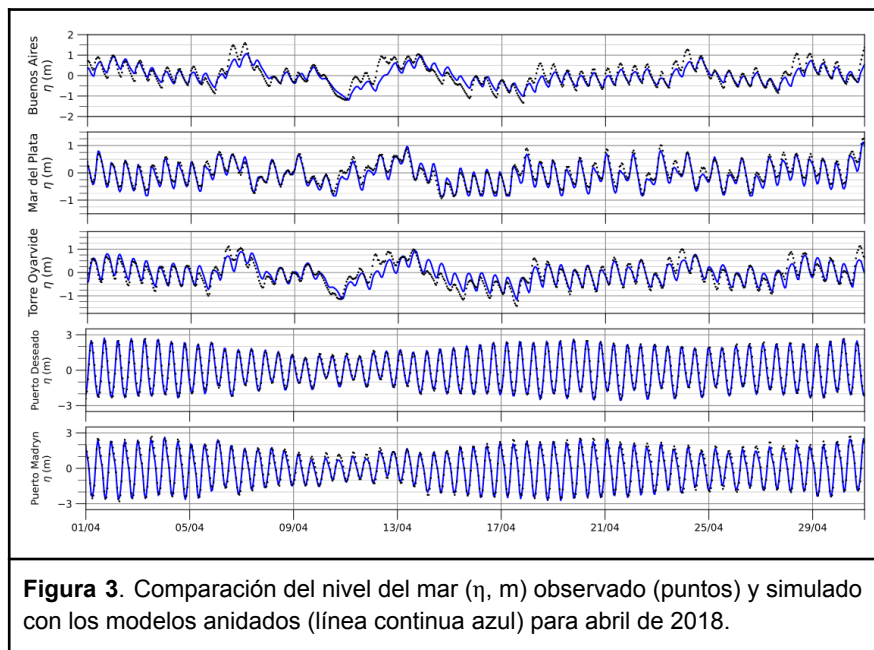


Figura 3. Comparación del nivel del mar (η , m) observado (puntos) y simulado con los modelos anidados (línea continua azul) para abril de 2018.

4) REFERENCIAS

Alvarez Fanjul, E., Ciliberti, S. y Bahurel, P. (eds), 2022: Implementing Operational Ocean Monitoring and Forecasting Systems. Paris, France, IOC-UNESCO, 376pp. & Annexes, (GOOS-275). DOI:<https://doi.org/10.48670/ETOOFS>.

Vousdoukas, M.I., Mentaschi, L., Voukouvalas, E. et al., 2018: Global probabilistic projections of extreme sea levels show intensification of coastal flood hazard. Nat Commun 9, 2360. <https://doi.org/10.1038/s41467-018-04692-w>.

Debreu, L., Marchesiello, P., Penven, P., y Cambon, G., 2012: Two-way nesting in split-explicit ocean models: Algorithms, implementation and validation. Ocean Modelling, 49–50, 1–21. <https://doi.org/10.1016/j.ocemod.2012.03.003>

Dinapoli, M. G., y Simionato, C. G., 2025a: On the impact of Southeastern Pacific-generated storm surges on the Southwestern Atlantic Continental Shelf: Interoceanic connections through coastally trapped waves. Journal of Geophysical Research: Oceans, 130, e2024JC021685. <https://doi.org/10.1029/2024JC021685>

Dinapoli, M. G., y Simionato, C. G., 2025b: On the magnitude and mechanisms of occurrence of nonlinear tide-surge interactions in the Southwestern Atlantic Continental Shelf. Estuarine, Coastal and Shelf Science, en prensa.