



Herramientas Oceanográficas en el SMN para abordar Operaciones SAR

Nota Técnica SMN 2024-183

Matias De Oto¹, Cynthia Matsudo¹, Silvina Righetti¹ y Soledad Osoro¹

¹Dirección de Productos de Modelación Ambiental y de Sensores Remotos. Dirección Nacional de Ciencia e Innovación en Productos y Servicios.

Noviembre 2024

Información sobre Copyright

Este reporte ha sido producido por empleados del Servicio Meteorológico Nacional con el fin de documentar sus actividades de investigación y desarrollo. El presente trabajo ha tenido cierto nivel de revisión por otros miembros de la institución, pero ninguno de los resultados o juicios expresados aquí presuponen un aval implícito o explícito del Servicio Meteorológico Nacional.

La información aquí presentada puede ser reproducida a condición que la fuente sea adecuadamente citada.

Resumen

El Servicio Meteorológico Nacional (SMN) busca mejorar el modelado de dispersión oceánica para apoyar las actividades de Búsqueda y Rescate (SAR, de sus siglas en inglés) y la gestión de contaminantes. Esta iniciativa se desarrolla en colaboración con la Prefectura Naval Argentina (PNA) y ha sido posible gracias a los avances logrados en la implementación del sistema regional de pronóstico marino de última generación, desarrollado en el marco del proyecto PronoMAr. Esta Nota Técnica introduce la caracterización del ambiente oceánico en la Plataforma Continental Argentina, presenta productos de corrientes y sus discrepancias en un caso SAR, y aborda los desafíos asociados.

Abstract

The National Meteorological Service (SMN, by its acronym in spanish) aims to enhance ocean dispersion modeling to support both Search and Rescue (SAR) operations and pollutant dispersion management. This initiative, developed in collaboration with the Argentine Coast Guard (PNA, by its acronym in spanish), is enabled by recent advancements in implementing the state-of-the-art regional marine forecasting system developed under the PronoMAr project. This Technical Note introduces the ocean environment characterization on the Argentine Continental Shelf, presents ocean current products and their discrepancies in a SAR case, and discusses associated challenges.

Palabras clave: Corrientes oceánicas, dispersión oceánica, Prefectura Naval Argentina

Citar como:

De Oto M., Matsudo C., Righetti S. y Osoros S., 2024: Herramientas Oceanográficas en el SMN para abordar Operaciones SAR. Nota Técnica SMN 2024-183.

1. INTRODUCCIÓN

En el marco del convenio "*Protocolo para la Recolección de Información Meteorológica de Buques que Navegan en Aguas Jurisdiccionales Argentinas*" firmado entre el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) y Prefectura Naval Argentina (PNA) en el año 2023, ambos organismos han establecido, entre otros compromisos, una nueva colaboración para la provisión de pronósticos de viento y corrientes para operaciones de Búsqueda y Rescate (SAR, por sus siglas en inglés). Estas operaciones son llevadas a cabo por la PNA, e involucran la búsqueda y el rescate de personas, embarcaciones o aeronaves en peligro en áreas marítimas o costeras. Particularmente, requieren la coordinación de recursos como aviones, helicópteros y embarcaciones, utilizando herramientas de pronóstico y modelado oceanográfico para localizar a los afectados en función de corrientes, vientos y otros factores ambientales.

Actualmente, para los casos SAR, la PNA utiliza el modelo de dispersión SARMAP (<https://www.rpsgroup.com/services/oceans-and-coastal/modelling/sarmap/>), un software de simulación desarrollado por RPS Group (www.rpsgroup.com) que está diseñado para modelar la deriva de objetos y sustancias en el mar, como personas, embarcaciones o derrames de hidrocarburos, utilizando datos oceanográficos y meteorológicos. Sin embargo, SARMAP es un software de código cerrado, lo que significa que no se tiene acceso a su código fuente, y además su uso requiere el pago de licencias, limitando la flexibilidad y personalización del modelo. Desde este punto de vista, en el SMN se han comenzado a investigar alternativas a este tipo de software pero de código abierto que permitan a la comunidad científica aportar mejoras continuas al código fuente en función a las necesidades específicas ofreciendo mayor transparencia y flexibilidad sin costos asociados al uso o licencias.

En cuanto al uso del modelo SARMAP, la PNA actualmente lo fuerza con pronósticos de corrientes oceánicas generados por el modelo global HYCOM-Navy (<https://www.ncei.noaa.gov/products/weather-climate-models/frnmoc-navy-global-hybrid-ocean>). Si bien HYCOM-Navy es ampliamente reconocido y respaldado en la comunidad científica, presenta una limitación importante en su resolución temporal (cada 3 horas), lo que dificulta la representación de fenómenos de pequeña escala que pueden ser cruciales en la dinámica costera de la Plataforma Continental Argentina (PCA). Ante esta limitación, desde el SMN se propuso explorar otras fuentes de datos oceánicos con mayor resolución temporal que ofrezcan una mejor calidad y/o control de calidad.

Por otro lado, Zhang y otros (2020) identifican tres aspectos clave a considerar al abordar un caso SAR: la caracterización del ambiente oceánico, las propiedades de los objetos flotantes y el modelo de dispersión empleado. La caracterización del ambiente oceánico implica comprender las condiciones del mar, como las corrientes, el viento y las olas, que influyen en el movimiento de los objetos en el agua. Las propiedades de los objetos flotantes, como su tamaño, forma y flotabilidad, determinan cómo interactúan con el ambiente y cómo derivan en el océano. Por último, el modelo de dispersión es la herramienta que integra estos factores para simular el movimiento de los objetos y predecir su trayectoria, proporcionando información esencial para las operaciones de búsqueda y rescate.

A partir de todo lo antes mencionado, en esta nota técnica se proponen los siguientes objetivos: 1) Realizar una caracterización de la PCA, 2) Hacer un relevamiento de información de pronósticos de corrientes oceánicas disponibles en tiempo real para su aplicación en operativos SAR, 3) Explorar un modelo de dispersión oceánica de código abierto.

2. CARACTERIZACIÓN DEL AMBIENTE OCEÁNICO DE LA PCA

2.1 Geografía

La Plataforma Continental Argentina forma parte de la extensa Plataforma Continental del Sudeste de Sudamérica (Fig. 1), que cubre más de 1200000 km² con profundidades menores a 200 m, y presenta una notable diversidad geográfica (Lonardi y Ewing, 1971; Urien y Zambrano, 1973). En su extremo sur, se destacan las costas escarpadas y los fiordos, mientras que en la región central predominan los acantilados y golfos como los de San Jorge y San Matías. Hacia el norte, el paisaje costero se suaviza con playas de arena y médanos, culminando en el estuario del Río de la Plata, caracterizado por depósitos de sedimentos finos (Parker y otros, 1997; Violante y otros, 2014; Moreira y otros, 2016).

Desde el punto de vista biológico, la PCA alberga uno de los ecosistemas marinos más productivos del mundo, con una gran abundancia de recursos pesqueros de alto valor comercial (Acha y otros, 2004; Álvarez-Colombo y otros, 2011; Auad y Martos, 2012; Romero y otros, 2006). El límite exterior de la PCA, conocido como talud continental, marca una abrupta caída en la profundidad, que va desde los 200 m hasta los 2000 m. Más allá del talud, se extiende lo que denominamos el océano interior o región offshore.

2.2 Dinámica y circulación

Una correcta identificación y caracterización de la dinámica oceánica en la PCA es clave para seleccionar los modelos más adecuados para aplicaciones específicas, como las operaciones SAR o las de dispersión de contaminantes. Al entender las particularidades de cada región, es posible determinar qué tipo de modelos y forzantes son necesarios para simular con precisión los procesos físicos relevantes. La Figura 1 presenta de forma esquemática y resumida las principales características de la dinámica oceánica y la circulación en la PCA, las cuales se detallan posteriormente en la Tabla I.

En la región identificada con el número '1' (ver Figura 1), que corresponde al océano interior, las corrientes responden a fenómenos de gran escala, por ejemplo corrientes que responden a los giros subtropicales, corrientes de borde oeste y remolinos de mesoescala. En estos casos sería ideal seleccionar pronósticos derivados de modelos globales forzados principalmente por el viento y los flujos de calor. Estos modelos son denominados baroclínicos y tienen una resolución temporal baja que suele ser de tres horas o mayor. Por otro lado, en las regiones costeras, existe una mayor

variedad de procesos dinámicos, que van desde corrientes provocadas por el oleaje a aspectos locales de la intensidad y la dirección del viento, la descarga continental y su interacción con corrientes de marea y onda de tormenta. Particularmente, en la región identificada con '2', al sur de la Península de Valdés, la corriente oceánica es en gran medida producida por la marea semidiurna mixta. En esta región la selección de pronósticos debería enfocarse en modelos oceánicos regionales con una buena resolución de la batimetría local, acompañados por modelos de oleaje y de viento local. La resolución temporal del pronóstico debería ser de 1 hora o menor para permitir ver procesos de alta variabilidad, denominados procesos barotrópicos.

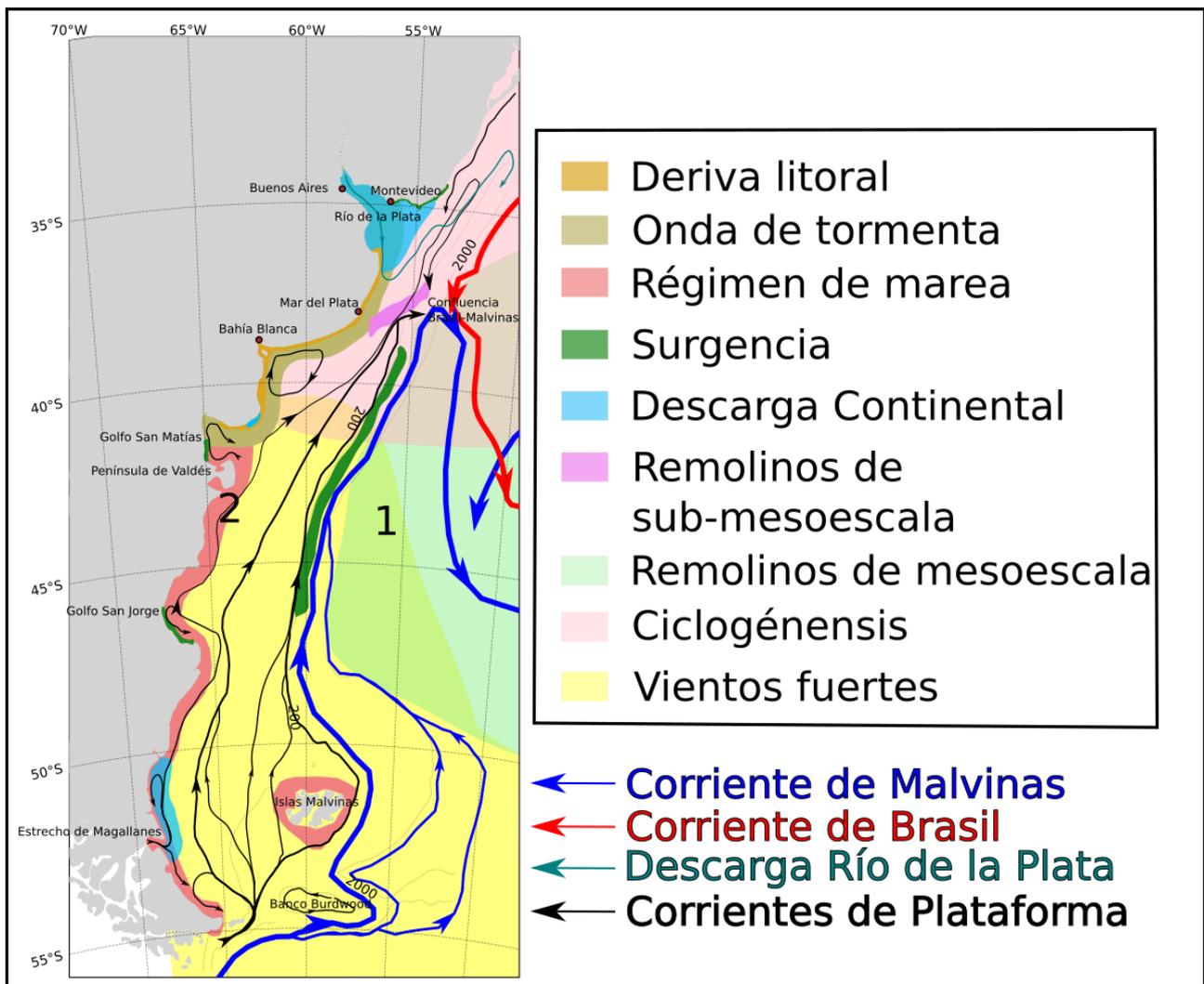


Figura 1: Esquema de áreas dinámicas y corrientes oceánicas de la Plataforma Continental del Sudeste de Sudamérica. Las etiquetas con el número 1 y 2 corresponden a dos regiones con características dinámicas bien distintas (ver texto). Las corrientes oceánicas fueron adaptadas de Matano y otros (2010).

Tabla I: Asociada a la Figura 1, algunas de las características oceanográficas de la Plataforma Continental del Sudeste de Sudamérica.

Forzante	Fenómeno	Región de mayor impacto	Bibliografía Sugerida
Deriva Litoral	Corriente costera que se genera por la incidencia oblicua del oleaje hacia la costa	Región costera del norte de la PCA	Wörner y otros, 2019; Echevarría y otros, 2018
Onda de Tormenta	Aumento/descenso del nivel del mar y modificación de las corrientes oceánicas por efecto del viento. La combinación con la marea astronómica y la descarga continental alteran su impacto	Norte de la PCA, estuario del Río de la Plata. Aumento de su impacto en la línea de costa	Dinapoli, 2020; Dinapoli y otros, 2020a, 2020c, 2020d, 2021, 2023; Alonso y otros, 2024
Régimen de marea	Régimen preponderantemente semidiurno mixto. Cambios periódicos en la dirección de las corrientes cada aproximadamente 12 h	Sur de la PCA, región comúnmente denominada Plataforma Patagónica al sur de los 40°	Glorioso y Flather, 1997; Pugh, 1989; Pisoni 2012; Egbert y Ray, 2001
Surgencia	Viento paralelo a la costa o al talud que modifica las propiedades termohalinas y de la circulación localmente. Procesos con duración inferior a la semana	Efecto costero en el sur de Uruguay, Golfo de San Matías y San Jorge y fuera de la costa sobre el talud continental	Trinchin y otros, 2019; Pisoni 2012; Pisoni y otros 2014, 2020; Valla y Piola, 2015; Carranza y otros, 2017
Descarga continental	Corrientes asociadas a la descarga continental por ríos pero también por el Estrecho de Magallanes que impacta en la modificación de las corrientes costeras e interacción con mareas astronómicas	Principalmente en Río de la Plata, pero también en el Río Negro. En Santa Cruz/Tierra del Fuego impacta la descarga del Estrecho de Magallanes, aunque no es, estrictamente, una descarga continental	Dinapoli 2020; Brun y otros, 2020
Remolinos submesoescala	Estructuras con diámetros ~30 km, desplazamiento de ~0.15 ms ⁻¹ y persistencia semanal. Modifican localmente la circulación de plataforma	Norte de la PCA, corredor identificado desde 50 km al este de Mar del Plata hacia el noreste hasta alcanzar el talud continental	Becker y otros, 2023
Remolinos mesoescala	Estructuras con diámetros ~200 km, de lento desplazamiento y persistentes en el tiempo por meses. Su circulación horaria y antihoraria puede modificar la circulación media de las corrientes de borde oeste, Brasil y Malvinas, sobre el sector del talud. También producen corrientes en el océano interior (región offshore)	Región de Confluencia Brasil-Malvinas y hacia la región offshore. Poco influencia sobre la PCA	Matano y otros, 2014
Ciclogénesis	Generación de sistemas extratropicales con elevada frecuencia, vientos fuertes con elevada variabilidad horaria y aumento de la altura de las olas en poco tiempo. Acompañado por precipitaciones fuertes	Norte de la PCA, incluida la región costera y el Río de la Plata. También en la región oceánica offshore	Seluchi, 1995; Simionato y otros, 2007; Simionato y otros, 2010
Vientos fuertes	Vientos del oeste/sudoeste persistentes, zona de generación permanente de oleaje hacia el océano interior (offshore)	Plataforma Patagónica (PCA al sur de los 40°)	https://cesimar.conicet.gov.ar/patagonia-la-reina-del-viento/
Corriente de Malvinas	Es una corriente de aguas frías y poco salinas con movimiento al norte. El perfil de velocidades es homogéneo en profundidad (comportamiento barotrópico) en torno a ~0.4 ms ⁻¹	A lo largo del talud continental hasta los 38°S	Paniagua 2021; Paniagua y otros, 2021
Corriente de Brasil	Es una corriente de aguas cálidas y salinas con movimiento hacia el sur. El perfil de velocidades es máxima en los primeros 400 m entre 0.4 y 1 ms ⁻¹ para luego disminuir con la profundidad (comportamiento baroclínico)	A lo largo del talud continental hasta los 38°S	Chidichimo y otros, 2021
Corrientes de Plataforma	Con una dirección predominantemente noreste y de velocidades débiles en promedio inferiores a 0.05 ms ⁻¹	Sobre toda la PCA, hasta el este del estuario del Río de la Plata	Rivas 1997; Palma y Matano, 2012; Combes y Matano, 2018; Lago 2022, Berden y otros, 2020

3. PRODUCTOS DE PRONÓSTICOS DE CORRIENTES OCEÁNICAS

Se analizaron tres modelos de corrientes: dos de acceso público con buena resolución espacial, el modelo global HYCOM-Navy (<https://www.ncei.noaa.gov/products/weather-climate-models/frnmoc-navy-global-hybrid-ocean>) y el sistema STOFS (<https://polar.ncep.noaa.gov/estofs/glo.htm>); y un tercer modelo, el sistema regional SIMMAR-PCA (Dinapoli y otros, 2020a, 2020c, 2020d; 2021, 2023), que actualmente se encuentra en fase experimental de desarrollo en el SMN dentro del proyecto PronoMAr (<https://www.cima.fcen.uba.ar/pm/>). A continuación, se presentan los detalles específicos de cada modelo.

3.1 HYCOM-Navy

Es un modelo global baroclínico, desarrollado por la Marina de los EE.UU. que proporciona pronósticos oceánicos con un rango de hasta 7 días, con una actualización diaria a las 00Z. Utiliza el Sistema de Asimilación de Datos del Océano Acoplado (NCODA) que integra observaciones tanto satelitales (altímetros) como in-situ. Ofrece corrientes zonales y meridionales con una resolución espacial de $1/12^\circ$ (~8 km) y una resolución temporal de 3 horas. El acceso a los datos en formato NetCDF se puede realizar a través de la página interactiva GOODS (https://gnome.orr.noaa.gov/goods/currents/HYCOM/choose_file) que permite seleccionar una región oceánica de interés o a través de la página operativa NOMADS (<https://nomads.ncep.noaa.gov/pub/data/nccf/com/navo/prod/>). Cada campo tri-horario global tiene un tamaño aproximado de 86 MB, por lo que una simulación de 72 horas requiere un espacio de almacenamiento cercano a 2 GB. El producto de corrientes fue utilizado históricamente por la PNA para la planificación y ejecución de operaciones marítimas. La accesibilidad y precisión de estos pronósticos lo han convertido en una herramienta clave para la toma de decisiones en tiempo real.

3.2 SIMMAR-PCA

Este modelo regional barotrópico por ensamble (Dinapoli y otros, 2020a, 2020d, 2020d; 2021, 2023) es un submódulo del modelo CROCO (https://croco-ocean.gitlabpages.inria.fr/croco_doc/) desarrollado en el Centro de Investigaciones del Mar y la Atmósfera (CIMA) para representar los aspectos dinámicos más importantes de la PCA, como el efecto de la marea en las corrientes inducidas por el viento y la descarga continental, elementos que suelen estar sub-representados en modelos globales. Actualmente, se encuentra en estado pre-operativo en el SMN ejecutándose diariamente a las 00Z. SIMMAR-PCA abarca gran parte de la PCA y utiliza una retícula regular estructurada tipo Arakawa-C con una resolución espacial de $1/8^\circ$ (~12 km) y una resolución temporal de 1 hora. Se compone de un conjunto de 20 miembros que generan pronósticos horarios a 5 días. La mayor ventaja que presenta, al ser un modelo por ensamble, es que permite representar la incertidumbre asociada a ambos forzantes: la incerteza del viento y la propagación de la marea.

3.3 STOFS

Es un sistema de pronóstico costero de dominio global y regional, no limitado sólo a Norteamérica, que utiliza el modelo ADCIRC (ADvanced CIRCulation) y el modelo GFS (Global Forecast System) como forzantes. Los pronósticos se ejecutan en el sistema de supercomputación WCOSS (Weather and Climate Operational Supercomputing System) de la NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) cuatro veces al día, con un alcance de 180 horas, produciendo los pronósticos de onda de tormenta a 180 horas y un retroanálisis de 6 horas. El sistema STOFS presenta un dominio global del tipo triangular con una resolución espacial variable mayor a 1.5 km en la PCA, mientras que la resolución temporal es de 1 hora. El dominio global se encuentra disponible en AWS (<https://registry.opendata.aws/noaa-gestofs/>), en archivos NetCDF con la información de altura del nivel del mar respecto del geode y las corrientes zonal y meridional promediadas verticalmente. En su resolución nativa y con 186 horas totales los archivos presentan un tamaño de ~25 GB, por lo que su manejo actual se hace poco eficiente e inoperativo en un caso SAR.

3.4 Ejemplo de discrepancias

La Figura 2 ilustra los campos pronosticados de corrientes oceánicas (en nudos) de los modelos HYCOM-Navy (panel izquierdo), SIMMAR-PCA (panel central) y STOFS (panel derecho) cerca de Pinamar (Provincia de Buenos Aires) para las 17 UTC del 20 de enero de 2024. Se evidencia, sin la necesidad de realizar cálculos complejos, el amplio rango de incertidumbre en la predicción de corrientes oceánicas de acuerdo al modelo de pronóstico utilizado. La Figura 3 complementa este análisis con una serie temporal de la corriente zonal (en nudos) durante todo el día 20 de enero de 2024. A diferencia del modelo global HYCOM-Navy, los sistemas SIMMAR-PCA y STOFS logran reproducir el régimen de marea semidiurna mixta característico de la región. Estos resultados iniciales respaldan la hipótesis planteada por Zhang y otros (2020), que sugiere que una correcta caracterización del ambiente oceánico es fundamental en escenarios SAR.

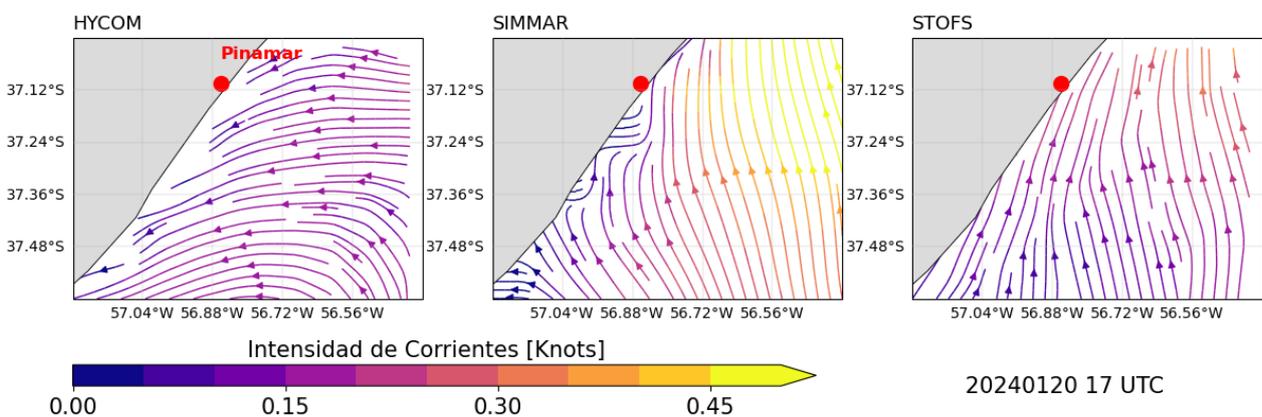


Figura 2: Pronóstico del campo regional de líneas de corrientes (nudos) en las proximidades de Pinamar (Buenos Aires) para las 17 UTC del 20 de enero del 2024 para el modelo global HYCOM-Navy (panel izquierdo), SIMMAR-PCA (panel central) y el sistema STOFS (panel derecho).

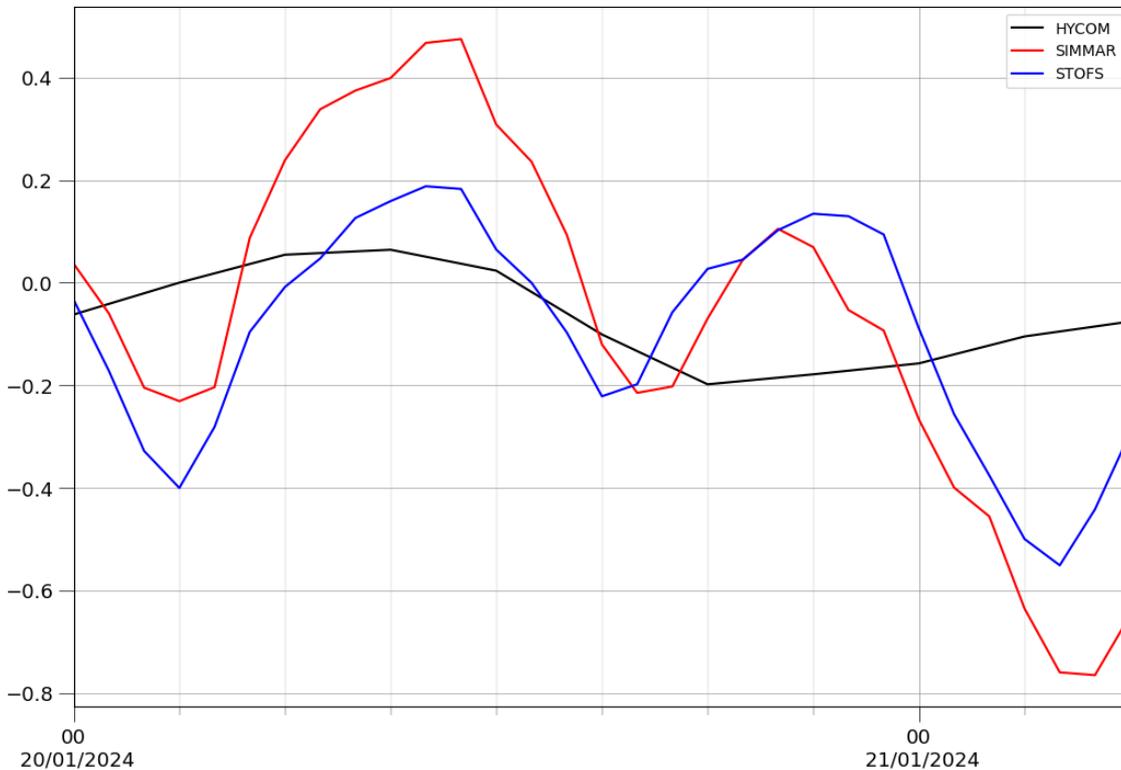


Figura 3: Pronóstico de la corriente zonal (en nudos) en las proximidades de Pinamar por los modelos HYCOM-Navy (negro), SIMMAR-PCA (rojo) y STOFS (azul).

4. EXPLORACIÓN DEL MODELO DE DERIVA OCEÁNICA: OpenDrift

Con el objetivo de analizar un modelo de código abierto para simulaciones de dispersión, se selecciona OpenDrift (<https://opendrift.github.io/>), una herramienta desarrollada por el Instituto Meteorológico de Noruega (NMI). Este modelo está siendo adoptado de manera operativa en diversos centros globales para casos de dispersión y seguimiento de partículas en el océano. Por ejemplo, a finales del año 2023, bajo la coordinación de la Organización Meteorológica Mundial (OMM), se llevaron a cabo una serie de pruebas SAR para simular la caída de un turista en aguas antárticas. Estas pruebas se desarrollaron en colaboración entre el Área de Pronósticos Regionales del SMN y el NMI.

Para este estudio de deriva oceánica, se utilizaron pronósticos de corrientes provenientes de los tres modelos descritos en la sección anterior: HYCOM-Navy, SIMMAR-PCA y STOFS. El modelo de dispersión empleado fue OpenDrift, específicamente con su componente "Leeway", que simula la trayectoria de objetos a la deriva en el mar. En este caso, se modeló el comportamiento de un

objeto de tipo "hombre al agua" (PIW average, por sus siglas en inglés) flotando a la deriva. Las simulaciones se realizaron para un período de 24 horas en dos ubicaciones diferentes, denominadas región 1 y región 2 (ver Figura 1).

El modelo Leeway no solo considera las corrientes oceánicas, sino que también requiere información sobre el viento. Para ambos casos, utilizamos como forzante de viento los pronósticos determinísticos del modelo WRF del SAP.SMN (Maldonado y otros, 2022). La Figura 4 muestra la probabilidad de encontrar el objeto en la región 1 (ver Figura 1) (latitud 44°S, longitud 56°W) para el 10 de octubre de 2024 a las 00:00 UTC, tras 6 horas de simulación desde su punto de partida el 9 de octubre de 2024 a las 00:00 UTC, utilizando los tres modelos de corrientes mencionados (ver paneles). De manera similar, la Figura 5 presenta los resultados para la región 2, cuya posición inicial es latitud 43°S, longitud 64°W. En el océano interior (región 1, Figura 4), se observa una marcada discrepancia en las áreas de mayor probabilidad de encontrar el objeto (computada en función de 10000 trayectorias simuladas). Esta diferencia es especialmente evidente al comparar el modelo baroclinico global, HYCOM-Navy (panel izquierdo), con los modelos barotrópicos SIMMAR-PCA (panel medio) y STOFS (panel derecho). Es probable que esta disparidad sea resultado de la dinámica del océano interior, que se modela de manera más precisa mediante procesos baroclínicos y patrones de circulación de gran escala, característicos de una dinámica más lenta. El modelo baroclinico muestra una mayor probabilidad hacia el sudoeste, mientras que los modelos barotrópicos presentan los valores más probables cerca de la zona de extravío, posiblemente debido a la falta de representación de las corrientes de borde oeste y los eddies de mesoescala que son típicos de esta área. Por otro lado, en el sector costero (región 2, Figura 5), los procesos rápidos y de menor escala temporal también revelan una notable discrepancia entre el modelo baroclinico global y los barotrópicos, siendo estos últimos los que indican una mayor probabilidad hacia el noreste, mientras que el modelo baroclinico se orienta hacia el sudeste.

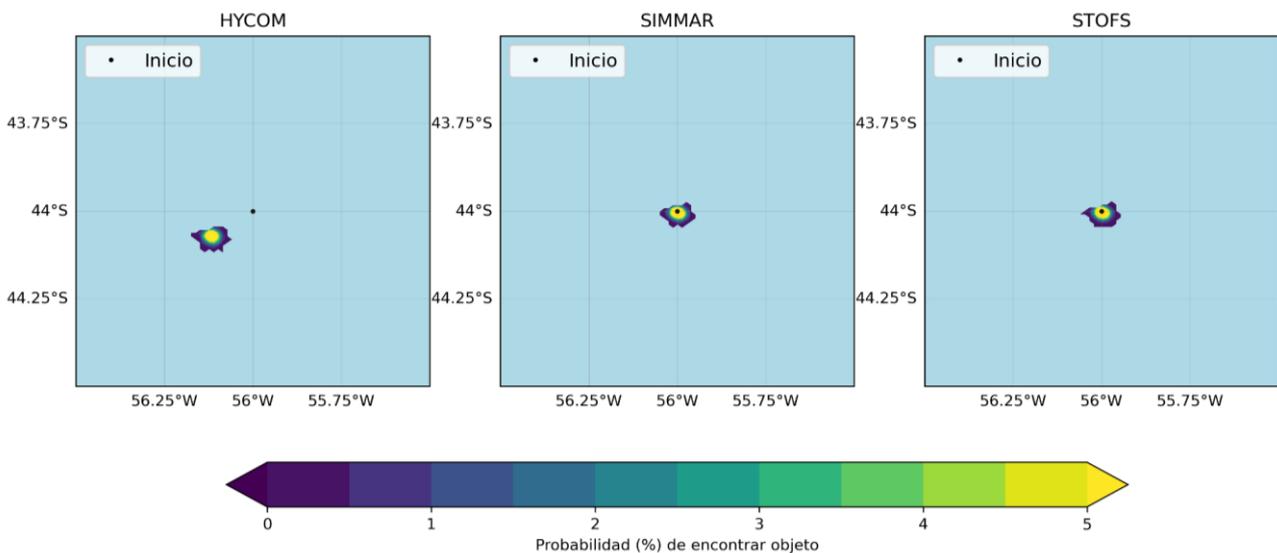


Figura 4: Simulación "Leeway" para un caso de hombre al agua 6 horas después de su extravío en la región 1 (ver Figura 1) a las 00 UTC del 9 de octubre de 2024 para HYCOM-Navy (panel izquierdo), SIMMAR (panel medio) y STOFS (panel derecho).

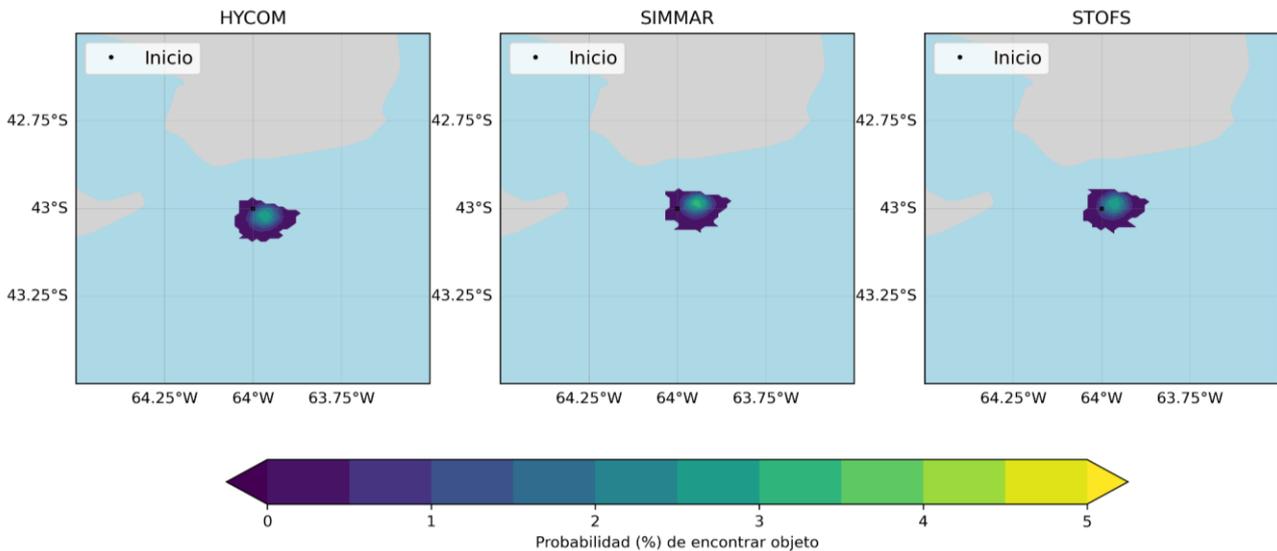


Figura 5: Simulación “Leeway” para un caso de hombre al agua 6 horas después de su extravío en la región 2 (ver Figura 1) a las 00 UTC del 9 de octubre de 2024 para HYCOM-Navy (panel izquierdo), SIMMAR (panel medio) y STOFS (panel derecho).

5. DESAFÍOS EN LA APLICACIÓN DEL OPERATIVO SAR

Para llevar a cabo un operativo SAR de manera eficaz, es crucial contar con una comprensión detallada de la dinámica oceánica en la zona del incidente. Sin embargo, hoy en día no es posible disponer de un modelo que integre completamente todos los procesos dinámicos necesarios para representar con precisión los movimientos de las corrientes en ubicaciones específicas. La falta de modelos que cubran de manera integral la dinámica costera y de plataforma sigue siendo un gran desafío. Procesos clave como la interacción entre la dinámica barotrópica y baroclínica, el comportamiento de los frentes de marea y la submesoescala en la región frontal de la plataforma norte no están adecuadamente representados en los modelos actuales. En gran parte esto se debe a la falta de observaciones sistemáticas in-situ y la carencia de batimetrías de alta resolución.

Uno de los principales retos operativos es la necesidad de realizar simulaciones rápidas que permitan dar respuestas inmediatas. Aún más, la incertidumbre sobre la posición y el tiempo de los sucesos acaecidos exigen la realización de varias simulaciones con distintas posiciones y tiempos iniciales (comunicación personal PNA).

En áreas cercanas a la costa, es fundamental que los modelos utilizados representen la descarga continental y se complementen con un modelo de olas, especialmente si se considera la deriva litoral. Además, es importante tener en cuenta que los operativos SAR a menudo requieren apoyo aéreo. Por lo tanto, contar con información meteorológica precisa es igualmente crítico. Variables como la visibilidad y la previsión de niebla son tan necesarias como la predicción de la deriva, ya que pueden influir directamente en la efectividad de las búsquedas y rescates.

En las áreas cercanas al talud fuera de la PCA, la intensa actividad pesquera incrementa el riesgo de accidentes, lo que conlleva una mayor demanda de operativos SAR (i.e. <https://www.cancilleria.gob.ar/es/actualidad/noticias/comunicado-sobre-el-naufrago-del-buque-argos-georgia>). A esto se suma el crecimiento de proyectos de exploración offshore (i.e. <https://www.argentina.gob.ar/economia/energia/exploracion-costa-afuera>), lo cual hace aún más crítico contar con simulaciones precisas, tanto para operaciones de rescate como para la dispersión de contaminantes en caso de incidentes. Estas regiones presentan una dinámica oceánica compleja, en gran parte dominada por procesos de gran escala, lo que sugiere que un modelo global podría ser suficiente. No obstante, la precisión de estos pronósticos se ve limitada por la escasez de observaciones que permitan cuantificar su desempeño.

Los resultados preliminares aquí presentados son prometedores. El camino a seguir implica desarrollar simulaciones de dispersión más coherentes y ajustadas. Un paso fundamental en este proceso será la realización de pruebas prácticas en colaboración con la PNA, mediante la evaluación de casos SAR históricos y la organización de experimentos de deriva con objetos flotantes equipados con GPS, lo que permitirá ajustar los modelos a condiciones reales.

6. REFERENCIAS

Acha, E. M., H. W. Mianzan, R. A. Guerrero, M. Favero, y J. Bava, 2004: Marine fronts at the continental shelves of austral South America: physical and ecological processes. *J. Mar. Syst.*, 44(1-2), 83–105.

Álvarez-Colombo, G., C. Dato, G. J. Macchi, E. Palma, L. Machinandiarena, H. E. Christiansen, P. Betti, C. Derisio, P. Martos, F. Castro-Machado, D. Brown, M. Ehrlich, H. Mianzan, y E. M. Acha, 2011: Distribución y comportamiento de las larvas de la merluza argentina: Evidencias de un mecanismo biofísico de autorreclutamiento en aguas de la plataforma continental norte de la Patagonia. *Cienc. Mar.*, 37(4B), 633–657.

Alonso, G., C. G. Simionato, M. G. Dinápoli, R. Saurral, y N. Bodnariuk, 2024: Positive Storm Surges in the Río de la Plata Estuary: forcings, long-term variability, trends and linkage with Southwestern Atlantic Continental Shelf dynamics. *Nat. Hazards*, 1–26.

Auad, G., y P. Martos, 2012: Climate variability of the northern Argentinean shelf circulation: impact on *Engraulis anchoita*. *Int. J. Ocean Clim. Syst.*, 3(1), 17–43.

Becker, F., S. I. Romero, y J. P. Pisoni, 2023: Detection and characterization of submesoscale eddies from optical images: a case study in the Argentine continental shelf. *Int. J. Remote Sens.*, 44(10), 3146–3159.

Berden, G., M. Charo, O. O. Möller Jr., y A. R. Piola, 2020: Circulation and hydrography in the western South Atlantic shelf and export to the deep adjacent ocean: 30° S to 40° S. *J. Geophys. Res. Oceans*, 125(10), e2020JC016500.

Brun, A. A., N. Ramirez, O. Pizarro, y A. R. Piola, 2020: The role of the Magellan Strait on the southwest South Atlantic shelf. *Estuarine Coastal Shelf Sci.*, 237, 106661.

Carranza, M. M., S. T. Gille, A. R. Piola, M. Charo, y S. I. Romero, 2017: Wind modulation of upwelling at the shelf-break front off Patagonia: Observational evidence. *J. Geophys. Res. Oceans*, 122(3), 2401–2421.

Chidichimo, M. P., A. R. Piola, C. S. Meinen, R. C. Perez, E. J. D. Campos, S. Dong, y S. L. Garzoli, 2021: Brazil Current Volume Transport Variability during 2009–2015 from a long-term moored array at 34.5 S. *J. Geophys. Res. Oceans*, 126(5), e2020JC017146.

Combes, V., y R. P. Matano, 2018: The Patagonian shelf circulation: Drivers and variability. *Prog. Oceanogr.*, 167, 24–43.

Dinápoli, M. G., 2020: Aportes al conocimiento de la dinámica y el modelado de las ondas de tormenta en el estuario del Río de la Plata y la Plataforma Continental adyacente. Tesis Doctoral, Universidad de Buenos Aires, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Retrieved from http://hdl.handle.net/20.500.12110/tesis_n6791_Dinapoli.

—, C. G. Simionato, y D. Moreira, 2020a: Model Sensitivity during Extreme Positive and Negative Surges in the Río de la Plata Estuary: Highlighting the Need for an Appropriate Hindcast/Forecast System. *Weather Forecast.*, 35, 1097–1112. DOI: 10.1175/WAF-D-19-0171.1.

—, C. G. Simionato, y D. Moreira, 2020c: Development and validation of a storm surge forecasting/hindcasting modelling system for the extensive Río de la Plata Estuary and its adjacent Continental Shelf. *Nat. Hazards*, <https://doi.org/10.1007/s11069-020-04079-5>.

—, C. G. Simionato, y D. Moreira,, 2020d: Nonlinear interaction between the tide and the storm surge with the current due to the flow of the tributary rivers in the tidal freshwater zone of the Río de la Plata. *Estuaries Coasts*, <https://doi.org/10.1007/s12237-020-00844-8>.

—, C. G. Simionato, y D. Moreira,, 2021: Development and evaluation of an ensemble forecast/hindcast system for storm surges at the Río de la Plata Estuary. *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, 147, 557–572. <https://doi.org/10.1002/qj.3933>.

—, J. J. Ruiz, C. G. Simionato, y G. Berden, 2023: Improving the short-range forecast of storm surges in the southwestern Atlantic continental shelf using 4DEnSRF data assimilation. *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, 149(755), 2333–2347. <https://doi.org/10.1002/qj.4509>.

Echevarría, E. R., W. C. Dragani, y S. Wörner, 2019: A comprehensive study about alongshore wave energy flux in the coast of Buenos Aires, Argentina. *J. Coast. Conserv.*, 23(2), 435–443.

Egbert, G. D., y R. D. Ray, 2001: Estimates of M2 tidal energy dissipation from TOPEX/Poseidon altimeter data. *J. Geophys. Res. Oceans*, 106(C10), 22475–22502.

Glorioso, P. D., y R. A. Flather, 1997: The Patagonian shelf tides. *Prog. Oceanogr.*, 40(1-4), 263–283.

Lago, L. S., 2022: Variabilidad de la circulación oceánica y forzantes asociados en la plataforma continental patagónica a partir de datos in-situ y satelitales. Tesis Doctoral, Universidad de Buenos Aires, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Retrieved from http://hdl.handle.net/20.500.12110/tesis_n7180_Lago.

Lonardi, A. G., y M. Ewing, 1971: Sediment transport and distribution in the Argentine Basin. 4. Bathymetry of the continental margin, Argentine Basin and other related provinces. Canyons and sources of sediments. *Phys. Chem. Earth*, 8, 81–121.

Maldonado, P., M. E. Dillon, Y. García Skabar, J. M. Guerrieri, M. Sacco, y J. J. Ruiz, 2022: Desarrollo e implementación local de un sistema de asimilación de datos regional de rápida actualización en el SMN. Trabajo presentado en el Congreso de Meteorología noviembre 2022, CONGEMET 2022. <http://hdl.handle.net/20.500.12160/2371>.

Matano, R. P., E. D. Palma, y A. R. Piola, 2010: The influence of the Brazil and Malvinas Currents on the Southwestern Atlantic Shelf circulation. *Ocean Sci.*, 6(4), 983–995.

—, V. Combes, A. R. Piola, R. Guerrero, E. D. Palma, T. Strub, y M. Saraceno, 2014: The salinity signature of the cross-shelf exchanges in the Southwestern Atlantic Ocean: Numerical simulations. *J. Geophys. Res. Oceans*, 119(11), 7949–7968.

Moreira, D., C. G. Simionato, W. Dragani, F. Cayocca, y M. L. C. Tejedor, 2016: Characterization of bottom sediments in the Río de la Plata estuary. *J. Coast. Res.*, 32(6), 1473–1494.

Palma, E. D., y R. P. Matano, 2012: A numerical study of the Magellan Plume. *J. Geophys. Res.*, 117, C05041. doi:10.1029/2011JC007750.

Paniagua, G. F., 2021: Variabilidad temporal de la corriente de Malvinas y su relación con las masas de agua en el Atlántico Sudoccidental. Tesis Doctoral, Universidad de Buenos Aires, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Retrieved from http://hdl.handle.net/20.500.12110/tesis_n6857_Paniagua.

—, M. Saraceno, A. R. Piola, M. Charo, R. Ferrari, C. Artana, y C. Provost, 2021: Malvinas current at 44.7° S: First assessment of velocity temporal variability from in situ data. *Prog. Oceanogr.*, 195, 102592.

Parker, G., M. C. Paterlini, y R. Violante, 1997: *El fondo marino*.

Pisoni, J. P., 2012: Los sistemas frontales y la circulación en las inmediaciones de los Golfos Norpatagónicos. Tesis Doctoral, Universidad de Buenos Aires, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Retrieved from http://hdl.handle.net/20.500.12110/tesis_n5193_Pisoni.

—, A. L. Rivas, y A. R. Piola, 2014: Satellite remote sensing reveals coastal upwelling events in the San Matías Gulf—Northern Patagonia. *Remote Sens. Environ.*, 152, 270–278.

—, A. L. Rivas, y M. H. Tonini, 2020: Coastal upwelling in the San Jorge Gulf (Southwestern Atlantic) from remote sensing, modelling and hydrographic data. *Estuarine Coastal Shelf Sci.*, 245, 106919.

Pugh, D. T., 1987: *Tides, Surges and Mean Sea-Level*.

Rivas, A. L., 1997: Current meter observations in the Argentine Continental Shelf. *Cont. Shelf Res.*, 17, 391–406.

Romero, S. I., A. R. Piola, M. Charo, y C. A. E. Garcia, 2006: Chlorophyll-a variability off Patagonia based on SeaWiFS data. *J. Geophys. Res. Oceans*, 111(C5).

Seluchi, M. E., 1995: Diagnóstico y pronóstico de situaciones sinópticas conducentes a ciclogénesis sobre el este de Sudamérica. *Geofís. Int.*, 34(2), 171–186.

Simionato, C. G., V. L. Meccia, R. Guerrero, W. C. Dragani, y M. Nuñez, 2007: Río de la Plata estuary response to wind variability in synoptic to intraseasonal scales: 2. Currents' vertical structure and its implications for the salt wedge structure. *J. Geophys. Res. Oceans*, 112(C7).

—, M. L. C. Tejedor, C. Campetella, R. Guerrero, y D. Moreira, 2010: Patterns of sea surface temperature variability on seasonal to sub-annual scales at and offshore the Río de la Plata estuary. *Cont. Shelf Res.*, 30(19), 1983–1997.

Trinchin, R., L. Ortega, y M. Barreiro, 2019: Spatiotemporal characterization of summer coastal upwelling events in Uruguay, South America. *Reg. Stud. Mar. Sci.*, 31, 100787.

Urien, C. M., y J. J. Zambrano, 1973: The geology of the basins of the Argentine continental margin and Malvinas Plateau. In *The South Atlantic*, pp. 135–169, Springer US.

Valla, D., y A. R. Piola, 2015: Evidence of upwelling events at the northern Patagonian shelf break. *J. Geophys. Res. Oceans*, 120(11), 7635–7656.

Violante, R., C. Paterlini, S. Marcolini, I. Costa, J. Cavallotto, C. Laprida, W. Dragani, N. Garcia Chaporí, S. Watanabe, V. Totah, E. Rovere, y M. Osterrieth, 2014: *The Argentine continental shelf*.

morphology, sediments, processes and evolution since the Last Glacial Maximum. *Geol. Soc. Lond. Mem.*, 41, 10.1144/M41.6.

Wörner, S., W. C. Dragani, E. R. Echevarria, M. Carrasco, y P. J. Barón, 2019: An estimation of the possible migration path of the Pacific Oyster (*Crassostrea gigas*) along the northern coast of Patagonia. *Estuaries Coasts*, 42(3), 806–821.

Zhang, X., L. Cheng, F. Zhang, J. Wu, S. Li, J. Liu, y M. Li, 2020: Evaluation of multi-source forcing datasets for drift trajectory prediction using Lagrangian models in the South China Sea. *Appl. Ocean Res.*, 104, 102395.

Instrucciones para publicar Notas Técnicas

En el SMN existieron y existen una importante cantidad de publicaciones periódicas dedicadas a informar a usuarios distintos aspectos de las actividades del servicio, en general asociados con observaciones o pronósticos meteorológicos.

Existe no obstante abundante material escrito de carácter técnico que no tiene un vehículo de comunicación adecuado ya que no se acomoda a las publicaciones arriba mencionadas ni es apropiado para revistas científicas. Este material, sin embargo, es fundamental para plasmar las actividades y desarrollos de la institución y que esta dé cuenta de su producción técnica. Es importante que las actividades de la institución puedan ser comprendidas con solo acercarse a sus diferentes publicaciones y la longitud de los documentos no debe ser un limitante.

Los interesados en transformar sus trabajos en Notas Técnicas pueden comunicarse con Ramón de Elía (rdelia@smn.gov.ar), Luciano Vidal (lvidal@smn.gov.ar) o Martin Rugna (mrugna@smn.gov.ar) de la Dirección Nacional de Ciencia e Innovación en Productos y Servicios, para obtener la plantilla WORD que sirve de modelo para la escritura de la Nota Técnica. Una vez armado el documento deben enviarlo en formato PDF a los correos antes mencionados. Antes del envío final los autores deben informarse del número de serie que le corresponde a su trabajo e incluirlo en la portada.

La versión digital de la Nota Técnica quedará publicada en el Repositorio Digital del Servicio Meteorológico Nacional. Cualquier consulta o duda al respecto, comunicarse con Melisa Acevedo (macevedo@smn.gov.ar).