

MONITOREO Y MODELADO DE UNA PLUMA FLUVIAL COSTERA ANTE UN EVENTO HIDROMETEOROLOGICO EXTREMO MEDIANTE HERRAMIENTAS SATELITALES Y NUMÉRICAS

Matías Nahuel De Oto Proschle^{1*} and Diana Marina Rodríguez¹

1. Servicio Meteorológico Nacional (SMN), Dirección de Productos de Modelación Ambiental y de Sensores Remotos - Dirección Nacional de Ciencia e Innovación en Productos y Servicios (DPMAYSR-DNCIPS), Av. Dorrego 4019, CABA, Argentina

Resumen Durante marzo de 2025, un evento hidrometeorológico extremo provocó una descarga fluvial extraordinaria del río Quequén-Salado hacia el Mar Argentino. Esta descarga generó una pluma superficial detectable mediante sensores satelitales (GOES-16/ABI), cuya evolución fue reconstruida a través de una metodología integrada basada en teledetección, procesamiento geoespacial y modelado numérico. La simulación de trayectorias se realizó con el sistema OpenDrift, forzado con datos del modelo meteorológico WRF-SMN y del modelo oceánico SIMMAR-PCA. Se evaluó la dinámica de dispersión en superficie y se identificaron limitaciones inherentes al uso de modelos barotrópicos en escenarios extremos. Este estudio destaca el valor estratégico del monitoreo meteorológico-oceanográfico integrado para la defensa civil, la gestión costera y la logística portuaria, proponiendo su incorporación como insumo operativo para la toma de decisiones ante eventos de impacto en el litoral atlántico. *OpenDrift*, forzadas por viento, corrientes oceánicas y descargas artificiales, y su verificación con imágenes satelitales ABI/GOES-16 y Sentinel-2.

Palabras Claves Pluma fluvial superficial, OpenDrift, GeoColor, monitoreo costero

1. Introducción

Durante marzo de 2025 se registró una descarga fluvial excepcional en el litoral bonaerense como consecuencia de las intensas precipitaciones que afectaron al sudoeste de la Provincia de Buenos Aires. Posteriormente, las lluvias generaron un marcado aumento de caudales en ríos y arroyos del área, como el río Quequén-Salado cuya pluma fluvial superficial (PFS, Fig. 1) alcanzó el Mar Argentino en las proximidades del Balneario Playa Marisol.

* Autor correspondiente: mdeoto@smn.gob.ar

En este trabajo se analiza la evolución de dicha PFS durante el 13 de marzo de 2025 mediante simulaciones de dispersión forzadas por viento, corrientes oceánicas y descargas artificiales, combinadas con imágenes satelitales del sensor ABI/GOES-16 para su verificación.



Figura 1. Imagen RGB (producto L2A) de la PFS asociada a la descarga del río Quequén-Salado tomada el 13 de marzo de 2025 a las 13:24 UTC por el sensor MSI/Sentinel-2 (10 m de resolución espacial).

2. Datos y Metodología

Se realizaron un total de 35 simulaciones lagrangianas de la PFS mediante el software de código abierto *OpenDrift* [1]. Estas simulaciones presentan una fuente de descarga puntual generada artificialmente que es forzada por pronósticos de viento a 10 m del WRF-SMN [3] y de corrientes barotrópicas del SIMMAR-PCA [2].

Las simulaciones se agruparon en 5 experimentos de sensibilidad al forzante y a las condiciones iniciales. En la Tabla 1 se muestran las características del primer experimento.

Para la detección de la PFS se empleó el producto GeoColor de disco completo del sensor ABI/GOES-16 [5], con resolución temporal de 10 min y resolución espacial de hasta ~ 2 km. A partir de estas imágenes se digitalizaron en el software ENVI polígonos cada 20 min (descartando escenas con nubosidad) que delimitaron la extensión de la pluma. La validación se realizó con imágenes MSI/Sentinel-2: se delinearon de manera análoga los contornos de la PFS en los sensores en horarios cercanos (Fig. 2). Las delimitaciones de Sentinel-2 (13:24 UTC) y GeoColor/GOES-16 (13:30 UTC) muestran buena consistencia en la forma y posición de la PFS cerca de Balneario Marisco. El polígono de

Tabla 1. Características del experimento 1.

Caso	Forzante viento	Forzante corrientes	Descarga fluvial
1a	Sí	No	Sí
1b	Sí	Sí	Sí
1c	No	Sí	Sí
1d	Sí	Sí	No
1e	No	No	Sí

GOES-16 queda mayormente contenido dentro de la envolvente “Grande”, con las discrepancias menores atribuibles al desfase temporal (6 min) y a la menor resolución espacial de GeoColor. Estos resultados respaldan el uso de GOES-16 para el seguimiento subhorario de la pluma.

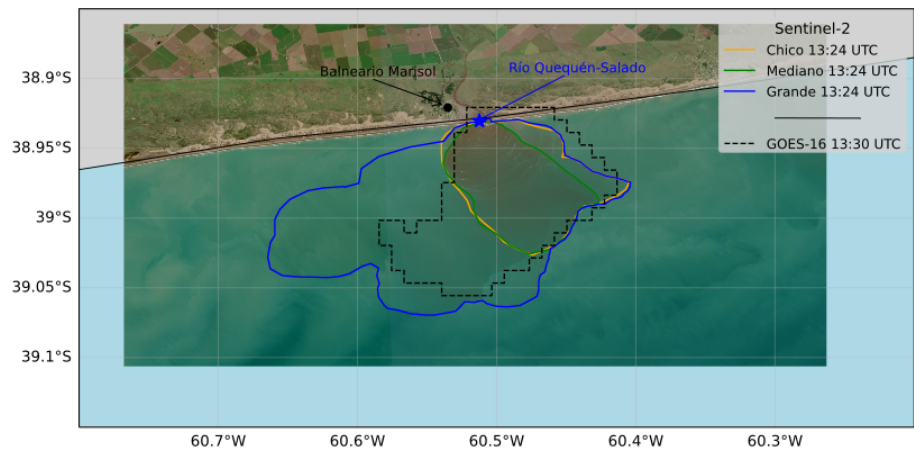


Figura 2. Pluma fluvial superficial del río Quequén-Salado el 13/03/2025 sobre fondo Sentinel-2 L2A (RGB). Contornos observacionales digitalizados de Sentinel-2 a las 13:24 UTC: “Chico” (naranja), “Mediano” (verde) y “Grande” (azul). Polígono GeoColor de GOES-16 a las 13:30 UTC (línea negra discontinua). Se observa alta coherencia espacial entre sensores en las proximidades de Balneario Marisol.

3. Resultados

La Figura 3 muestra el pronóstico de concentración de partículas del caso 1b (Tabla 1) a las 20:50 UTC del 13 de marzo de 2025. El polígono simulado (azul) se encuentra mayormente contenido dentro del observado (rojo), generado a partir de la imagen GeoColor de ese horario.

Los estadísticos de probabilidad de detección (POD) y falsa alarma (FAR) mostraron que el caso 1b, que incluye corrientes y descarga, obtuvo la mejor

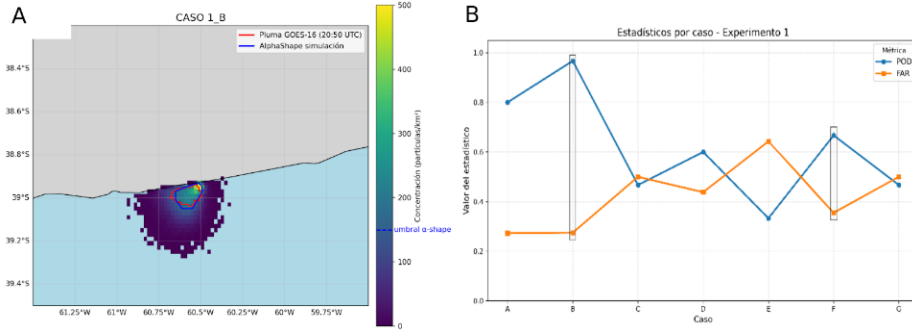


Figura 3. (a) Concentración de partículas por km² (sombreado), polígono simulado (azul) y observado (rojo). (b) Estadísticos POD (azul) y FAR (naranja) para las simulaciones del experimento 1.

performance (POD=0.96, FAR=0.27). Experimentos sólo con viento o sólo con descarga evidenciaron menor ajuste, mientras que las corrientes por sí solas mostraron mejor desempeño relativo.

4. Conclusiones

Se realizaron 35 simulaciones de una Pluma Fluvial Superficial (PFS) asociada a la descarga del río Quequén-Salado, validadas con polígonos observacionales generados a partir de imágenes GeoColor. Se evidenció que la inclusión de corrientes marinas (caso 1b) mejora sustancialmente la representación de la pluma, mientras que el viento aislado puede deteriorarla, dado que el modelo SIMMAR-PCA ya las incluye como forzante.

La comparación Sentinel-2 vs. GeoColor mostró consistencia en la detección de la PFS, destacando el potencial de este último sensor para estudios de alta frecuencia en la Plataforma Continental Argentina.

Finalmente, se señala la necesidad de contar con información en tiempo real de corrientes y descargas fluviales para aplicaciones operativas como la búsqueda y rescate (SAR).

Referencias

1. Dagestad, K. F., Röhrs, J., Breivik, Ø., & Ådlandsvik, B. (2018). OpenDrift v1.0: a generic framework for trajectory modelling. *Geosci. Model Dev.*, 11, 1405–1420.
2. Dinápoli, M. G., Simionato, C. G., & Moreira, D. (2020). Development and validation of a storm surge forecasting/hindcasting modelling system for the Río de la Plata Estuary and adjacent Continental Shelf. *Nat. Hazards*.
3. Matsudo, C. M., García Skabar, Y., Righetti, S. A., Cutraro, F., Sacco, M., Dillon, M. E., Álvarez Imaz, M., Maldonado, P., & Salles, M. A. (2022). Sistema de pronóstico numérico del Servicio Meteorológico Nacional. CONGREMET XIV, Buenos Aires.

4. De Oto Proschle, M. N., Muñoz, S., Valdeomillos, V., & Pisoni, J. P. (2025). Characterizing the San Matias Meridional Front from a geostationary satellite perspective. *Reg. Stud. Mar. Sci.*, 81.
5. Schmit, T. J., Gunshor, M. M., Menzel, W. P., Gurka, J. J., Li, J., & Bachmeier, A. S. (2005). Introducing the next-generation Advanced Baseline Imager on GOES-R. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 86, 1079–1096.