

# ESTUDIO DE SENSIBILIDAD DEL PRONÓSTICO DE NIVELES DEL RÍO DE LA PLATA Y FRENTE MARÍTIMO A LA CONDICIÓN DE BORDE FLUVIAL

Lucas Sellanes<sup>1</sup>, Daniel Balparda<sup>1</sup>, Diego Silva<sup>2</sup>, Michelle Jackson<sup>1</sup>, Pablo Ezzatti<sup>2</sup>, Mónica Fossati<sup>1</sup>

(1) Instituto de Mecánica de los Fluidos e Ingeniería Ambiental (IMFIA), Facultad de Ingeniería Universidad de la República, Uruguay

(2) Instituto de Computación (INCO), Facultad de Ingeniería Universidad de la República, Uruguay

[lsellanes@fing.edu.uy](mailto:lsellanes@fing.edu.uy), [dbalparda@fing.edu.uy](mailto:dbalparda@fing.edu.uy), [diegos@fing.edu.uy](mailto:diegos@fing.edu.uy), [mjackson@fing.edu.uy](mailto:mjackson@fing.edu.uy), [pezzatti@fing.edu.uy](mailto:pezzatti@fing.edu.uy), [mfossati@fing.edu.uy](mailto:mfossati@fing.edu.uy)

## Introducción

El Río de la Plata forma parte de uno de los estuarios de mayor superficie del planeta. Se encuentra ubicado sobre la costa atlántica de América del Sur, al sur de la República Oriental del Uruguay y este de la República Argentina (Figura 1). Este estuario recibe el aporte de la segunda cuenca más grande de Sudamérica después de la cuenca amazónica, con un aporte de caudal de aproximadamente 26000 m<sup>3</sup>/s. Se trata de un cuerpo de agua con gran importancia socio ambiental para los países que comparten su jurisdicción, y conforma un cuerpo de agua de dinámica compleja donde la marea meteorológica toma gran relevancia (Santoro et al, 2013). Debido a esto, en el Instituto de Mecánica de los Fluidos e Ingeniería Ambiental (IMFIA) de la Facultad de Ingeniería de Uruguay se ha desarrollado un sistema de pronóstico operacional en tiempo real de los niveles de mar en las aguas territoriales del Río de la Plata y su Frente Marítimo (Ballesteros, 2021). El sistema de pronóstico se basa en el desarrollo de diferentes prototipos. En este trabajo se presenta un nuevo prototipo del pronóstico que busca mejorar la representación de la condición de borde fluvial del sistema.



Figura 1.- Ubicación de la zona de estudio.

## Descripción del sistema actual

El pronóstico utiliza el modelo numérico TELEMASCARET, en su versión bidimensional TELEMASCARET-2D (Hervouet, 2007). El dominio está definido por un sistema discretizado de elementos finitos con malla no-estructurada de resolución variable desde 3km en el Frente Marítimo a 100m en la zona interior.

El modelo numérico utiliza como forzante en el borde oceánico el pronóstico de nivel de marea emitido por el modelo global RTOFS-HYCOM de NOAA-NCEP, de 1/12° de resolución en tiempo real (<https://polar.ncep.noaa.gov/global/>), sumados a los niveles de marea astronómica del atlas FES2014. Asimismo, como forzante meteorológico en todo el dominio se utiliza el pronóstico de vientos a 10 m y presión atmosférica del GFS de NOAA de 1/4° de resolución (<https://www.nco.ncep.noaa.gov/pmb/products/gfs/>).

En el prototipo utilizado actualmente el aporte fluvial de los ríos afluentes ingresa como un valor constante representando caudales estacionarios, igual a 20.547 m<sup>3</sup>/s para el borde del Río Uruguay y Paraná-Guazú, y 5.825 m<sup>3</sup>/s correspondiente al Río Paraná Las Palmas. Los aportes fluviales corresponden a agua dulce mientras que en la frontera oceánica se considera un valor de salinidad igual a 35 kg/m<sup>3</sup>.

Día a día el sistema desarrollado descarga los forzantes

publicados en la web y realiza el pronóstico con un horizonte temporal de 72 horas, publicando los resultados online (<https://www.fing.edu.uy/imfia/pronostico-marea/>). El pronóstico se evalúa diariamente comparando resultados con datos de nivel de mar recolectados por mareógrafos y disponibles en tiempo real. Otros detalles específicos del pronóstico, así como la parametrización del modelo para el pronóstico se describen en Ballesteros (2021).

El objetivo de este trabajo es generar un nuevo prototipo del pronóstico de niveles en el Río de la Plata y costa uruguaya que mejore en el modelo numérico la condición de borde interior de los ríos Uruguay y Paraná. Para eso, se incluye en la malla de cálculo, el río Uruguay en el tramo Salto Grande hasta la desembocadura, y la zona del delta del Paraná. Los resultados de este nuevo prototipo se comparan con el prototipo original y se evalúan las mejoras obtenidas en el sistema.

## Metodología

En primer lugar, se genera una nueva malla del modelo numérico incorporando los tramos fluviales (río Uruguay y Paraná). Para el río Uruguay se utiliza como base la malla no-estructurada generada por Junes en su trabajo de maestría (Junes, 2020) (Figura 2) entre la represa de Salto Grande y la desembocadura en el Río de la Plata. Se trata de una grilla con resolución variable, en la que se cuenta con tramos de canal del río de 150 m en el sentido longitudinal, mientras que en sentido transversal al cauce varía entre 20 a 50 m.

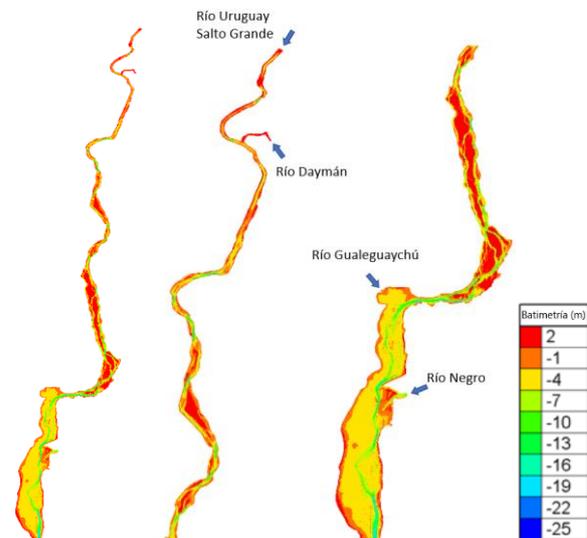
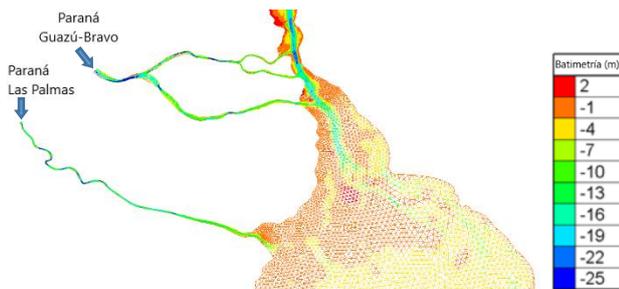


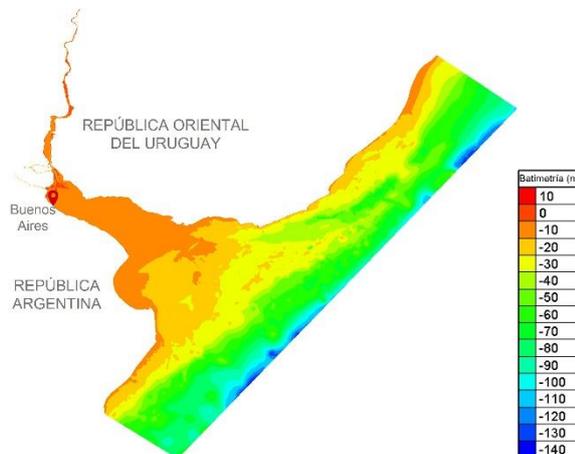
Figura 2.- Malla de cálculo y batimetría del Río Uruguay (panel izquierdo). Detalle del tramo superior y del tramo inferior (panel intermedio y panel derecho). Se marcan las secciones donde se ingresan condiciones de borde de caudales fluviales.

Para el delta del Paraná se utiliza información batimétrica procesada por el Instituto Nacional de Aguas (INA) de Argentina (Latinoconsult, 2020), y se generan dos tramos, uno asociado al Río Paraná Las Palmas y el otro a los Ríos Paraná Guazú-Bravo (Figura 3).



**Figura 3.-** Malla de cálculo y batimetría de la zona del Delta del Paraná. Se marcan las secciones donde se ingresan condiciones de borde de caudales fluviales.

Se compatibiliza la resolución de la malla en los tramos fluviales con la malla del Río de la Plata, generando una zona de transición con cambio gradual de resolución. De igual forma se suavizan los cambios bruscos de batimetría en las uniones para evitar inestabilidades en el modelo numérico. Finalmente se obtiene la grilla que se presenta en la Figura 4.



**Figura 4.-** Malla final del nuevo prototipo.

Para la nueva malla deben especificarse las condiciones de borde que representan los ingresos de caudal fluvial a los distintos tramos. En este sentido, tenemos que como afluente al tramo del Río Uruguay modelado se tienen los ríos Negro, Daymán y Gualaguaychú, además del caudal erogado por la represa de Salto Grande. Para este trabajo se consideran los caudales medios históricos calculados a partir de caudales medios diarios de los mismos, estos datos son mostrados en la Tabla 1 (Junes, 2020). Se observa en la misma que domina el caudal del Paraná las Palmas (15400 m<sup>3</sup>/s aproximadamente) frente a 4600 m<sup>3</sup>/s del Paraná Guazú-Bravo y 6400 m<sup>3</sup>/s del río Uruguay.

**Tabla 1.-** Valores de caudal fluvial ingresados como condición de borde (ver ubicación en las Figuras 2 y 3).

Afluente	Caudal (m <sup>3</sup> /s)
Santa Lucía	180
Negro	825
Daymán	82
Uruguay (SG)	5401
Gualaguaychú	36
Paraná Guazú-Bravo	4606
Paraná Las Palmas	15422

Las restantes condiciones de borde (frontera oceánica y superficie libre), así como los parámetros del modelo (rugosidad de Manning y tensión de corte de viento) se mantienen iguales a la configuración original del pronóstico (Ballesteros, 2021).

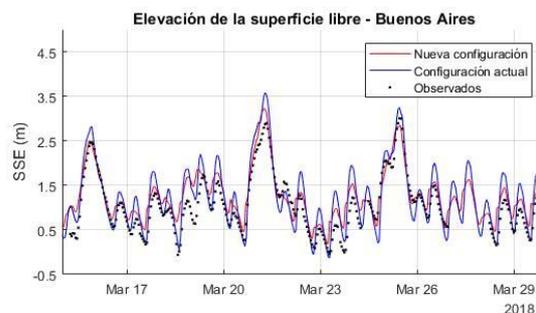
Para inicializar el modelo se parte del reposo, nivel constante y salinidad 35 kg/m<sup>3</sup> en todo el dominio. Esta última condición, y debido al gran tamaño del sistema, implica que sea necesario simular un período de calentamiento largo (un año) para poder

independizarse de la misma. Se simula el año 2017 como período de calentamiento durante el cual se van agregando de manera gradual los forzantes (nivel variable oceánico y vientos).

Para evaluar la variación de los resultados del pronóstico de niveles al incluir los tramos fluviales se simula (en modalidad pronóstico) un período de tiempo de 3 años (2018, 2019 y 2020) con el nuevo prototipo y se comparan los resultados obtenidos con los resultados del pronóstico actual durante el mismo período de tiempo. Además, se calculan los estadísticos que evalúan los resultados del pronóstico y se analiza la mejora en la calidad del mismo.

## Resultados

Los resultados obtenidos muestran una gran sensibilidad de los resultados de nivel en la zona cercana a la desembocadura al modificar la condición de borde, principalmente sobre la costa argentina. A modo de ejemplo, se presenta en la Figura 4 la serie temporal de elevación de la superficie libre obtenida con el modelo con el nuevo prototipo y con la configuración actual (sin tramos fluviales) en la ciudad de Buenos Aires (ver ubicación en la Figura 3) para la segunda quincena del mes de Marzo del 2018.



**Figura 4.-** Serie temporal de elevación de la superficie libre para la estación de Buenos Aires.

Los estadísticos básicos de evaluación del pronóstico (BIAS, RMSE y correlación, ver Ballesteros (2011) para su definición) muestran en general una mejora en la representación de los niveles medidos, obteniéndose un aumento de la correlación y una disminución del RMSE, mientras que el BIAS no presenta casi variaciones.

## Conclusiones

Se presentan los primeros resultados obtenidos con el nuevo prototipo del pronóstico de niveles del Río de la Plata y Frente Marítimo donde se observa una mejora en los niveles pronosticados al incluir en la malla de cálculo del modelo numérico los tramos fluviales.

## Referencias

- Santoro P, Fossati M, Piedra-Cueva I, (2013). *Study of the meteorological tide in the Río de la Plata*. Continental Shelf Research.
- Ballesteros, M. (2021). *Sistema de pronóstico de los niveles de marea en tiempo real en el Río de la Plata*. Tesis de maestría. Universidad de la República (Uruguay). Facultad de Ingeniería.
- Junes Blanco, R. (2020). *Modelo hidrodinámico del río Uruguay: Determinación de los principales patrones de flujo y su variación espacio-temporal en función de los forzantes*. Tesis de maestría. Universidad de la República (Uruguay). Facultad de Ingeniería.
- Latinoconsult (2020). *Servicio de consultoría para el estudio de factibilidad técnico-económica del próximo período de concesión del sistema de navegación troncal*. Vía navegable troncal Santa Fe-Océano y Santa Fe-Confluencia. Tomo 2. Junio, 2020.