

# IMPLEMENTACIÓN DE UN MODELO HIDRODINÁMICO Y DE CALIDAD DE AGUA BI-DIMENSIONAL EN EL EMBALSE DE PASO SEVERINO, URUGUAY

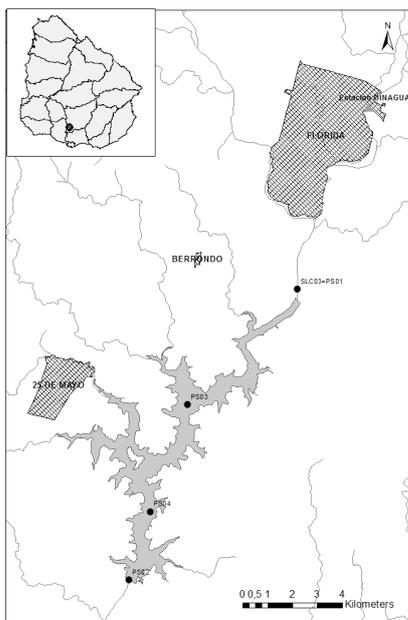
Agustín Ríos, Mónica Fossati y Nicolás Rezzano

Instituto de Mecánica de los Fluidos e Ingeniería Ambiental, Universidad de la República, Uruguay.

E-mail: arios@fing.edu.uy, mfossati@fing.edu.uy, nrezzano@fing.edu.uy

## Introducción

El embalse de Paso Severino (PS), ubicado sobre el río Santa Lucía Chico (SLCh), es una de las principales reservas de agua dulce del Uruguay. Su importancia radica en que es un reservorio de agua bruta para potabilización y abastecimiento de Montevideo y Área Metropolitana, sirviendo a un 57% de la población del país. El río SLCh se ubica en la cuenca del río Santa Lucía (SL), una cuenca de importancia estratégica para el país. Esta importancia radica en que además de ser la principal fuente de agua bruta para potabilización, es de gran relevancia económica, dado que es uno de los principales polos de producción de alimentos. En la Figura 1 se presenta la ubicación del embalse de PS.



**Figura 1.-** Ubicación embalse de Paso Severino, Departamento de Florida, Uruguay. Se presentan estaciones de monitoreo de calidad de agua PS01, PS02, PS03, PS04.

El desafío es el desarrollo en la cuenca de actividades productivas relevantes para la economía del país, preservando la calidad de los cuerpos de agua. Para lograr dicha articulación es de particular importancia por un lado identificar y controlar los aportes, tanto puntuales como difusos, y por otro monitorear la calidad de los cursos de aguas, tareas que se encarga de gestionar la Dirección Nacional de Medio Ambiente (DINAMA). En referencia a la calidad de agua de los cursos de la cuenca del río SL, la DINAMA cuenta desde diciembre de 2004 con una red de monitoreo que ha permitido generar una mínima base de datos. Según DINAMA (2015), la evolución del estado trófico en el río SLCh muestra un incremento desde un estado mesotrófico en las nacientes, hasta un estado eutrófico, supereutrófico e inclusive hipereutrófico en la entrada al embalse de PS a lo largo del tiempo.

En mayo de 2013 la DINAMA promueve el “Plan de Acción para la Protección de la Calidad Ambiental y la Disponibilidad de las Fuentes de Agua Potable en la Cuenca del Río Santa Lucía” en respuesta a un evento de olor y sabor del agua potable en Montevideo ocurrido en marzo 2013 que se asoció a un

fenómeno de eutrofización (URSEA, 2017). Este Plan fue desarrollado con el objetivo de formular y ejecutar las acciones que permitan controlar, detener y revertir el proceso de deterioro de la calidad del agua en la cuenca del río SL.

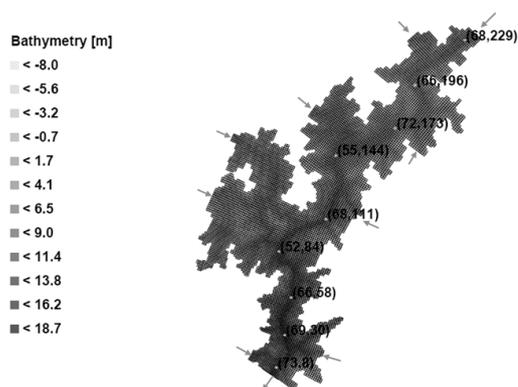
Este estudio es un primer acercamiento para representar, mediante un modelo numérico, la variación espacial y temporal de los procesos hidrodinámicos que influyen el crecimiento de algas en el embalse de PS. De esta forma, los resultados obtenidos en el modelo hidrodinámico serán datos de entrada para la implementación de un modelo de calidad de agua en el embalse.

## Materiales y métodos

La represa de PS fue construida entre 1983 y 1986, a modo complementario de la represa de nivel de Aguas Corrientes, localidad ubicada a aproximadamente 40 km aguas abajo, donde se encuentra la planta potabilizadora. En su cota de vertido, PS posee aproximadamente una capacidad de 65 Hm<sup>3</sup> y una superficie de 15 km<sup>2</sup>, siendo la profundidad media de 4,4 m. La cuenca del río SLCh con cierre en la represa de PS ocupa aproximadamente 2.500 km<sup>2</sup>.

Para representar los procesos hidrodinámicos en el embalse se aplica el módulo Delft3d-FLOW del modelo Delft3d v4.02.03 (Deltares, 2016), que servirán como insumo para el módulo Delft3d-WAQ que se utilizará para representar los aspectos relacionados a la calidad de agua. El módulo hidrodinámico Delft3d-FLOW resuelve las ecuaciones de Navier-Stokes para fluidos incompresibles, considerando la hipótesis de onda larga y la aproximación de Boussinesq, y se basa en diferencias finitas.

En este trabajo se implementa el modelo bidimensional promediado en vertical. Las ecuaciones se resuelven en una grilla ortogonal estructurada en coordenadas cartesianas. La grilla está compuesta por 11.000 celdas, de aproximadamente 60 m x 60 m, generada sobre una batimetría proporcionada por Obras Sanitarias del Estado (OSE), compuesta por curvas de nivel cada 2 m. En la Figura 2 se presenta la batimetría interpolada en la grilla generada, los bordes abiertos y los principales puntos de observación para las variables modeladas.



**Figura 2.-** Batimetría interpolada en grilla 60 m x 60 m generada mediante el software Delft3d para el embalse de PS. Se agregan también puntos de observación y los bordes abiertos.

La variación de la temperatura se representa mediante el modelo

propuesto por Lane, A. (1989), incorporado por el Delft3d-FLOW. Para ello, se ingresan datos de temperatura del aire, humedad relativa y nubosidad, brindados por el Instituto Uruguayo de Meteorología (INUMET) y profundidad de disco Secchi, de la cual se cuentan algunas mediciones realizadas por DINAMA, encontrándose entre 0,35 m y 0,9 m.

Se dispone de una serie de caudales diarios medidos en la ciudad de Florida en una estación de la Dirección Nacional de Aguas (DINAGUA). Según Chreties et al. (2010), la razón entre los caudales en la entrada al embalse y los caudales medidos en Florida es 1,4. Estos caudales estimados, se utilizan como condición de borde aguas arriba en el modelo. La ley de descarga del vertedero de la represa es utilizada como condición de borde aguas abajo. Al no disponerse de datos de temperatura en los afluentes, las condiciones de borde de temperatura se estiman a partir del modelo propuesto por Harvey et al., (2011), que estima la temperatura del agua únicamente a partir de datos de temperatura del aire ajustado para distintas cuencas.

En el modelo se incluye el viento a 10 m de altura medido por el INUMET en la estación Florida como forzante en la superficie libre; la precipitación diaria registrada en el pluviómetro de la localidad 25 de mayo; la radiación solar y la evaporación son computadas por el modelo, y la descarga de unas válvulas de la represa. Se realizó un análisis de la sensibilidad a diversos parámetros del modelo: al paso de tiempo, al número de Manning, al coeficiente de arrastre del viento, a la viscosidad horizontal turbulenta, a la difusividad horizontal turbulenta (Ríos et al, 2017).

Para ajustar el modelo se dispone de una serie de niveles registrados por OSE con frecuencia diaria cerca de la descarga del embalse. Para ajustar la temperatura se cuentan con datos puntuales medidos esporádicamente por DINAMA en sus estaciones. El periodo de calibración es julio a diciembre de 2013, validándose para el periodo julio a diciembre de 2014.

## Resultados

Como resultado del proceso de calibración del modelo se obtiene el conjunto de parámetros que mejor ajusta los niveles registrados. En la Figura 3 se presentan los niveles modelados y medidos en un punto próximo a la descarga del embalse para el periodo julio a noviembre de 2013. Se toma como referencia la cota de vertido de la presa.

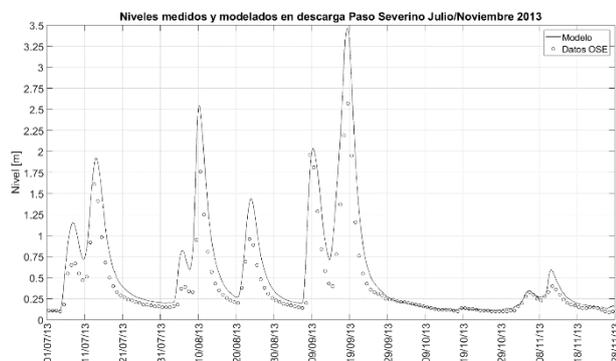


Figura 3.- Niveles medidos y modelados en embalse de PS.

En cuanto a la zonificación de PS según los distintos gradientes de velocidades, se diferencian los tres ambientes característicos de los embalses: fluvial, de transición y lacustre (Ji, Zhen-Ghang (2008), Mao, J. et. al (2008)). La zona fluvial se identifica como una zona dominada por la advección, con un gradiente de velocidades pronunciado. En este caso, el gradiente es de aproximadamente 14 cm/s/km y se extiende en los primeros 1,8 km del embalse. La importancia de la advección disminuye hacia aguas abajo, hasta que aproximadamente en la progresiva 10,8 km el gradiente de velocidades se vuelve

despreciable en la zona lacustre. En el medio se encuentra una zona de transición, donde el gradiente es de aproximadamente 1,7 cm/s/km.

Como se mencionó, no se cuentan con datos medidos de temperatura de agua en los afluentes para imponer las condiciones de borde. Se realiza entonces un análisis de la influencia de las condiciones de borde, observándose que dicha influencia disminuye desde la zona fluvial (dominada por la advección) hacia la zona lacustre.

## Conclusiones

En este trabajo se presentaron las primeras simulaciones hidrodinámicas y de temperatura, analizando la sensibilidad del modelo a parámetros considerados relevantes en el sistema a modelar. Se observa que el modelo ajustado reproduce la variabilidad registrada en los niveles en el embalse de Paso Severino. Se observa además la importancia de tener caracterizada la temperatura en los afluentes para representar adecuadamente la temperatura en el embalse.

Actualmente se están realizando las primeras simulaciones de calidad de agua, tomando como input los resultados del modelo hidrodinámico y de temperatura. Estas primeras simulaciones incluyen oxígeno disuelto, DBO carbonácea y amonio. Se espera luego estudiar la influencia de los distintos ambientes identificados (fluvial, de transición, lacustre) en el desarrollo de blooms de algas.

Vale mencionar que la disponibilidad de datos para calibración y validación del modelo es limitada, por lo que este trabajo apunta a ser una primera aproximación al problema planteado. A su vez, a partir de los resultados obtenidos se espera generar recomendaciones de monitoreo específico para alimentar un sistema de modelación de calidad de agua del embalse.

## Referencias bibliográficas

- Chreties, C., Crisci, M., Symonds, S., Silveira, L., Teixeira, L. (2010). "Evaluación de 3 metodologías para la determinación de hidrogramas extremos en el estudio de la sobre-elevación de la presa de Paso Severino." *XXIV Congreso Latinoamericano de Hidráulica*, Punta del Este, Uruguay.
- Deltares (2016). "Delft3d-FLOW User Manual." Delft, The Netherlands.
- DINAMA (2015). "Evolución de la calidad en la Cuenca del Santa Lucía. 10 años de información." Montevideo, Uruguay.
- Harvey, R., Lye, L., Khan, A & Paterson, R. (2011). "The Influence of Air Temperature on Water Temperature and the Concentration of Dissolved Oxygen in Newfoundland Rivers." *Canadian Water Resources Journal*.
- Ji, Zhen-Ghang (2008). "Hydrodynamics and Water Quality. Modeling rivers, lakes, and estuaries". John Wiley & Sons.
- Lane, A. (1989). "The heat balance of the North Sea". *Tech. Rep. 8, Proudman Oceanographic Laboratory*.
- Mao, J., Jiang, D., Dai, H. (2014). "Spatial-temporal hydrodynamic and algal bloom modelling analysis of a reservoir tributary embayment". *Journal of Hydro-environment Research*.
- Ríos, A., Fossati, M., Rezzano, N. (2017). "Aplicación de un modelo hidrodinámico y de calidad de agua bi-dimensional en el embalse de Paso Severino, Uruguay." *XXVI Congreso Nacional del Agua*, Córdoba, Argentina.
- URSEA (2017). "Informe de situación de las medidas que se están implementando para el aseguramiento de la potabilización del agua del Sistema de abastecimiento de Montevideo y Laguna del Sauce". Montevideo, Uruguay.