

EFFECTO DE LA INCERTIDUMBRE EN LOS CEROS DE MIRA EN LOS RESULTADOS DE MODELACIÓN DEL RÍO MAGDALENA

Imra Hodžić y Leonardo Alfonso

IHE-Delft Institute for Water Education, Países Bajos.
E-mail: l.alfonso@un-ihe.org

Introducción

Las condiciones climáticas extremas en la cuenca del río Magdalena están exacerbando la escasez de agua en los Andes por un lado, e incrementando el riesgo de inundaciones severas los valles de los ríos. En 2010/2011, las precipitaciones se registraron entre dos y cuatro veces más altas que el promedio histórico, con consecuentes pérdidas humanas y daños económicos. Con el fin de anticipar y mitigar posibles daños y pérdidas futuras, diferentes autoridades colombianas comenzaron a actuar en dirección a la prevención de inundaciones, entre otras actividades, mediante la construcción de modelos hidrodinámicos. Aunque el ejercicio de modelación ha sido finalizado, aún no se ha estudiado la propagación de errores debidos a las diversas fuentes de incertidumbre del modelo. En particular, los problemas ya conocidos con respecto a los niveles de referencia de las miras de nivel de agua (conocidos como ceros de mira, CM) a lo largo del río incrementan la incertidumbre del ejercicio de modelación.

Como es sabido, cualquier proceso de modelación hidráulica e hidrológica incluye una serie de fuentes de incertidumbre entre los que se pueden mencionar los parámetros, las condiciones de frontera, la estructura del modelo, los datos de entrada, entre otros. El análisis de incertidumbre proporciona una evaluación cuantitativa, pero también cualitativa, de cuán bueno es un modelo para reproducir el comportamiento de los datos históricos. La media, la varianza, los cuantiles, los límites de incertidumbre, entre otros, son varias formas de cuantificar la incertidumbre. Sin embargo, cualquier paso hacia la comprensión del fenómeno de incertidumbre es más valioso que su cuantificación (Ratto et al 2001).

El objetivo principal de este estudio es desarrollar una metodología para evaluar la incertidumbre en los datos del modelo del río Magdalena originados por registros de niveles inciertos en el modelo del modelo hidrodinámico 1D2D Río Magdalena y entender el efecto sobre los resultados de tal modelo.

Herramientas

Los métodos a utilizar se basan en el análisis de sensibilidad, sensibilidad local y análisis de incertidumbre.

El análisis de sensibilidad (AS) considera cómo la incertidumbre en el resultado del modelo podría relacionarse con la incertidumbre de cada entrada del modelo (Saltelli et al., 2008). De otra parte, el Análisis de Sensibilidad Local (ASL) evalúa la sensibilidad de la salida del modelo debido a los cambios realizados en un solo parámetro mientras los demás parámetros se mantienen constantes. El método más común utilizado para ASL, y el utilizado para el desarrollo la metodología propuesta, corresponde al cambio producido en la salida del modelo con respecto al cambio producido en una de sus entradas (Saltelli, et al., 2000):

$$S_i = \frac{\Delta y_i}{\Delta x_i} \quad [1]$$

Donde S representa la sensibilidad del i -ésimo factor del modelo; y es la salida del modelo, y x es la variable cambiante del modelo. Como medida de la sensibilidad de la variable bajo análisis, se utiliza el Índice de Sensibilidad (SI). A una

sensibilidad alta de la variable le corresponde un valor alto de SI y viceversa.

Uno de los métodos más populares para evaluar la incertidumbre en modelos es el del Análisis de Sensibilidad Global, ASG (Pappenberger, et al., 2008; Gan, et al., 2014). El ASG se basa en la idea de estimar la incertidumbre de la salida del modelo como producto de combinaciones de incertidumbres en las entradas del mismo.

Metodología

La metodología propuesta para analizar la influencia de las incertidumbres de los niveles de referencia de las miras de nivel de agua sobre los resultados del modelado hidrodinámico de 1D2D se presenta en la Figura 1. La metodología consta de cuatro pasos principales. El primer paso considera el análisis de datos y la selección de rango de ceros de mira; el segundo es la selección de estrategia de muestreo y generación de entrada de datos; el tercero considera la configuración del modelo para la simulación Monte Carlo y el último proporciona la interpretación de resultados del modelo (incluyendo la relación entre CMs y el error cuadrático medio, el análisis de sensibilidad local y global, y el análisis de incertidumbre y mapas probabilísticos).

Con respecto al análisis de los datos de ceros de mira, diversos reportes de campañas realizadas en diferentes fechas, resumidas por UNC (2012) y complementadas por Hodžić (2016) dan cuenta de que diversas campañas, incluyendo oficiales realizadas por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, así como realizadas por universidades y consultorías en el marco de diversos proyectos, los ceros de las miras varían de una forma tal que implican una fuente importante de incertidumbre en el ejercicio de modelación (Tabla 1).

Con base en los rangos presentados, se realizaron 655 posibles combinaciones de perfiles del río en los que las secciones transversales fueron desplazadas verticalmente, según el rango de posibles variaciones en los ceros de mira. Estas combinaciones se realizaron mediante un muestreo aleatorio con una distribución de probabilidad uniforme, teniendo en cuenta los mínimos y los máximos encontrados en cada una de las estaciones. Ello asume que cualquier valor de cero de mira dentro de los rangos es igualmente probable en la realidad. Las secciones transversales que fueron desplazadas fueron las 481 secciones utilizadas en el modelo desarrollado por CIRMAG y documentado en Sánchez-Lozano et al (2015), en el sector comprendido entre San Pablo y Regidor (Figura 1).

Resultados

La automatización de la ejecución del modelo se realizó utilizando Matlab, tomando como referencia los primeros meses del año de 2010. Este lapso se seleccionó porque los niveles de agua en estas fechas fueron históricamente bajos, garantizando que no hay desbordes que puedan afectar la lectura de miras. Es interesante anotar que los niveles de agua de las últimas semanas del 2010 fueron históricamente altos.

La Figura 2 muestra un ejemplo de resultado de análisis Monte

Carlo, en donde el rango de posibles niveles de agua obtenido a partir de la variación en los ceros de mira dentro de los rangos señalados en la Tabla 1 es presentado. Dicha figura fue generada para cada una de las estaciones de interés mencionadas en dicha Tabla.

Finalmente, la Figura 3 presenta un resumen de los histogramas del error medio cuadrático de los niveles de agua modelados, con respecto a los niveles de agua observados, utilizando el cero de mira oficial incorporado en el modelo original. Se puede observar que la estación Sitio Nuevo presenta el mayor rango de error, lo cual es consecuente con el amplio rango posible de sus ceros de mira. Por su parte, las estaciones Regidor y San Pablo tienen desviaciones standard bajas.

Tabla 1.- Rango de variación de la referencia en miras (adaptado de UNC, 2012).

Mira	Rango cero de mira [m]
San Pablo	0 – 0.025
Sitio Nuevo	2.709 – 7.103
Badillo	0.064 – 0.087
El Contento	0.172 – 0.764
Gamarra	0.152 – 0.535
La Gloria	0 – 0.019
Regidor	0 – 0.122

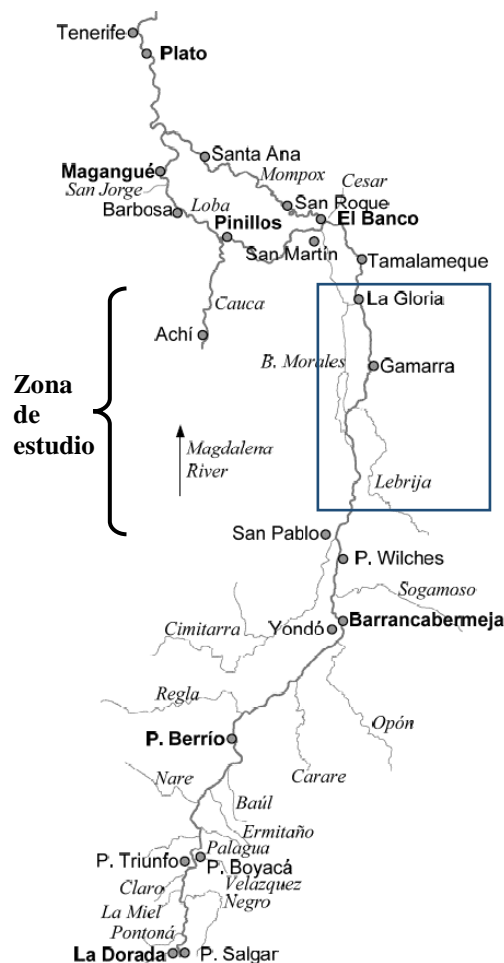


Figura 1.- Zona de estudio – Adaptado de Alfonso (2010).

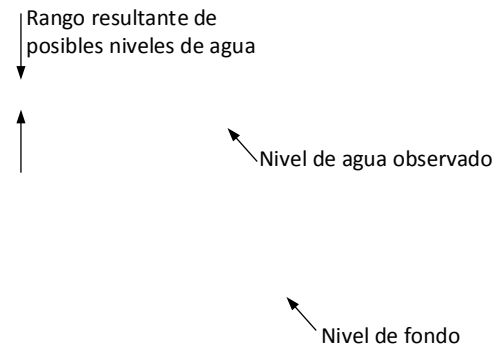


Figura 2.- Ejemplo de resultado Monte Carlo.

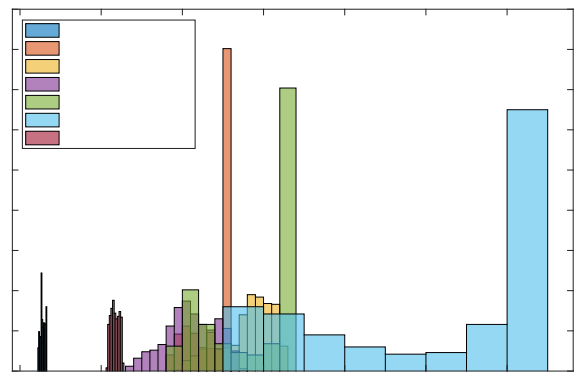


Figura 3.- Errores en los modelos debidos a cambios en los ceros de mira

Referencias bibliográficas

- Alfonso, L., He, L., Lobbrecht, A., and Price, R. (2013). "Information theory applied to evaluate the discharge monitoring network of the Magdalena River", *Journal of Hydroinformatics*, 15: 211-28.
- Ratto, M., S. Tarantola, and A. Saltelli. (2001) "Sensitivity analysis in model calibration: GSA-GLUE approach." *Computer Physics Communications* 136.3 (2001): 212-224.
- UNC (2012) Campaña hidrográfica del canal navegable del Río Magdalena, sector Barrancabermeja - San Pablo – Barranquilla, Informe técnico, Universidad Nacional de Colombia, Informe CM-010-2012
- Hodžić, Imra (2012) Methodology to assess the influence of data uncertainties on modelling the Magdalena River, Colombia (En inglés, Metodología para evaluar la influencia de incertidumbre de datos en la modelación del Río Magdalena, Colombia). Tesis de Maestría WSE-FRM.16-04, UNESCO-IHE, Institute for Water Education, Delft, Países Bajos.
- Sánchez Lozano, J. L.; , F. Ardila Camelo., J. J. Oliveros Acosta., W. D. Ramirez Morales., C. A. Cardona Almeida., C. I. Garay Bohorquez., E. Verschelling., A. Becker., and M. Zagonjoli (2015) "Hydraulic modeling of Magdalena River using Sobek." (En inglés, Modelo hidráulico del Río Magdalena utilizando Sobek). 36th IAHR World Congress, edited by IAHR. The Hague, The Netherlands: IAHR.