



Asociación de Universidades
GRUPO MONTEVIDEO



25
al
27

SET
2019

Montevideo

II CONGRESO DE AGUA
AMBIENTE Y ENERGÍA

AUGM



UNIVERSIDAD
DE LA REPÚBLICA
UDLAR

II Congreso de Agua Ambiente y Energía, AUGM

AVANCES EN LA MODELACIÓN HIDROLÓGICA DISTRIBUIDA DE LA BANDA ORIENTAL

Vanessa Erasun ^a, Gonzalo Sapriza ^a, Rafael Banega ^a, Pablo Gamazo ^a, Lucas Bessone ^a

^a *Departamento del Agua, Centro Universitario Regional (CENUR) Litoral Norte, Universidad de la República (UdelaR), Salto, Uruguay, verasun@unorte.edu.uy, gsapriza@unorte.edu.uy, rbanega@unorte.edu.uy, gamazo@unorte.edu.uy, lbessone@unorte.edu.uy.*

RESUMEN: Para gestionar de forma sostenible las diferentes demandas de uso de las aguas superficiales y subterráneas, las autoridades responsables de la administración del recurso necesitan herramientas de gestión que promuevan el uso, aprovechamiento y manejo racional del mismo. Dentro de esas herramientas de gestión, los modelos hidrológicos son de carácter fundamental, no sólo para mejorar la planificación y utilización de dicho recurso, sino también ante la necesidad de evaluar diferentes escenarios tales como períodos de sequía meteorológica, inundaciones, impacto del cambio climático, cambios en los usos del suelo, etc.. En este trabajo se presentan los avances de la implementación de los modelos hidrológicos distribuidos de la cuenca del río Uruguay evaluando los modelos HBV-96 [Lindstrom, 1997] y PDM [Moore, 2007], y los tránsitos hidrológicos de onda cinemática y Muskingum-Cunge-Todini [Todini, 2007]. Una vez calibrados y validados los modelos, servirán como herramienta de gestión que permitirá conocer la disponibilidad de los recursos hídricos en el territorio, realizar pronósticos y evaluar escenarios de las diferentes actividades antrópicas que puedan desarrollarse en las subcuencas de estudio.

PALABRAS CLAVE: Modelación hidrológica distribuida, Cuenca del Río Uruguay, Hidroinformática.

1 INTRODUCCIÓN

Los principales usos de los recursos hídricos en la región de la cuenca del río Uruguay son el riego, el consumo humano, la generación hidroeléctrica y el uso industrial. Estas actividades junto con los usos del suelo tiene un impacto en la cantidad y calidad del agua.

Para gestionar de forma sostenible las diferentes demandas de uso de las aguas superficiales y subterráneas, las autoridades responsables de la administración del recurso necesitan herramientas de gestión que promuevan el uso, aprovechamiento y manejo racional del mismo. Dentro de esas herramientas de gestión, los modelos hidrológicos son de carácter fundamental, no sólo para mejorar la planificación y utilización de dicho recurso, sino también ante la necesidad de evaluar diferentes escenarios tales como períodos de sequía meteorológica, inundaciones, impacto del cambio climático, cambios en los usos del suelo, etc..

Atendiendo al grado de importancia que se le atribuye a la variabilidad espacial de los procesos hidrológicos que se desarrollan en las cuencas de estudio, los modelos pueden clasificarse como agregados, semi-distribuidos y distribuidos en función de la discretización espacial necesaria para contemplarla. La elección del tipo de modelo a implementar será función de su aplicación y de la disponibilidad de observaciones.

Los modelos agregados, que consideran la cuenca como un todo, son aplicados en general para predicción de caudales, evaluación de los recursos hídricos y análisis de escenarios de cambio climático. Los semi-distribuidos y distribuidos, son utilizados cuando es necesario contemplar la variabilidad espacial de los procesos hidrológicos que se desarrollan en las cuencas debido a las precipitaciones, tipos de suelo, topografía, geología y vegetación. Son una herramienta útil en la gestión del territorio debido a que permiten evaluar los impactos generados por la antropización en lo que refiere a los cambios en los usos del suelo, cobertura vegetal, etc.

En Uruguay, los modelos hidrológicos son utilizados por los organismos encargados de la gestión de los recursos. En cuanto a la generación de energía hidroeléctrica, en particular para el río Uruguay, la Comisión Técnica Mixta de Salto Grande (CTM - SG) cuenta con un modelo de gestión implementado en FEWS [Werner *et al.*, 2013; <http://www.delft-fews.nl/>], que recibe información en tiempo real y es capaz de estimar el estado de la cuenca y realizar predicción de aportes con un paso de tiempo de 3 horas. Existen antecedentes de modelos hidrológicos de paso diario [Gamazo *et al.*, 2014] para algunas cuencas uruguayas e incluso se han implementado modelos en sistemas de alerta temprana para previsión de avenidas [Silveira *et al.*, 2015]. Sin embargo, muy pocos trabajos son los que consideran los efectos antrópicos en los procesos de generación de escorrentía [Crisci *et al.*, 2015].

1.1 *Objetivo general*

En este trabajo, se propone el desarrollo de un modelo hidrológico distribuido de la cuenca del río Uruguay como una herramienta de gestión que permita conocer la disponibilidad de los recursos hídricos en el territorio, realizar pronósticos y evaluar escenarios de las diferentes actividades antrópicas que puedan desarrollarse en las subcuencas de estudio. Para ello se evaluarán los modelos HBV-96 [Lindstrom, 1997] y PDM [Moore, 2007], y los tránsitos hidrológicos de onda cinemática y Muskingum-Cunge-Todini [Todini, 2007].

Se hará especial énfasis en la calibración y validación del modelo para las subcuencas del territorio uruguayo y argentino aguas abajo del Puente Internacional Paso de los Libres.

1.2 *Objetivo específico*

Este trabajo tendrá como objetivo específico, determinar el modelo hidrológico que mejor ajuste en términos de los procesos hidrológicos representados por el modelo (parametrizaciones) y en cuanto a la calidad de ajuste.

A su vez, el modelo con mejor ajuste (una vez calibrado y validado) se utilizará para evaluar diferentes escenarios: (i) aumento del número de embalses en las cabeceras de las cuencas, (ii) cambios en los usos del suelo, (iii) escenarios de cambio climático.

2 MÉTODOS

2.1 *Área de estudio*

El río Uruguay tiene una longitud de aproximadamente 1,838 Km, un área de aporte de 565.000 Km² y comprende los países de: Brasil, Paraguay, Argentina y Uruguay.

La delimitación de las subcuencas afluentes al río Uruguay (ver Figura 1), definición de las redes de drenaje y direcciones de flujo se hará utilizando los datos disponibles de modelos digitales de terreno (MDT) de HydroSHEDS [Lehner *et al.*, 2013] obtenidos de la Misión Topográfica Shuttle Radar (SRTM). Para llevar esto a cabo se utilizarán herramientas del Sistema de Información Geográfica Quantum GIS (QGIS).

2.2 Datos de entrada

Para poder desarrollar el modelo hidrológico, es necesaria la recopilación de información hidrometeorológica de base.

Las diferentes fuentes consultadas de estaciones fluviométricas fueron integradas en una única base de datos, en la cual se distinguieron los diferentes formatos y procedencia de los mismos. En la Figura 1 se muestra el conjunto de las 216 estaciones fluviométricas compiladas y la procedencia de las mismas, cuya descripción se encuentra en la Tabla 1.

Tabla 1. Procedencia de las estaciones fluviométricas recopiladas.

País	Fuente	Descripción
Uruguay	UTE	Administración Nacional de Usinas y Trasmisiones Eléctricas
Uruguay	CTM-SG	Comisión Técnica Mixta - Salto Grande
Uruguay	DINAGUA	Dirección Nacional de Aguas
Argentina	BDHI	Base de Datos Hidrológica Integrada
Brasil	ANA	Agencia Nacional de Aguas

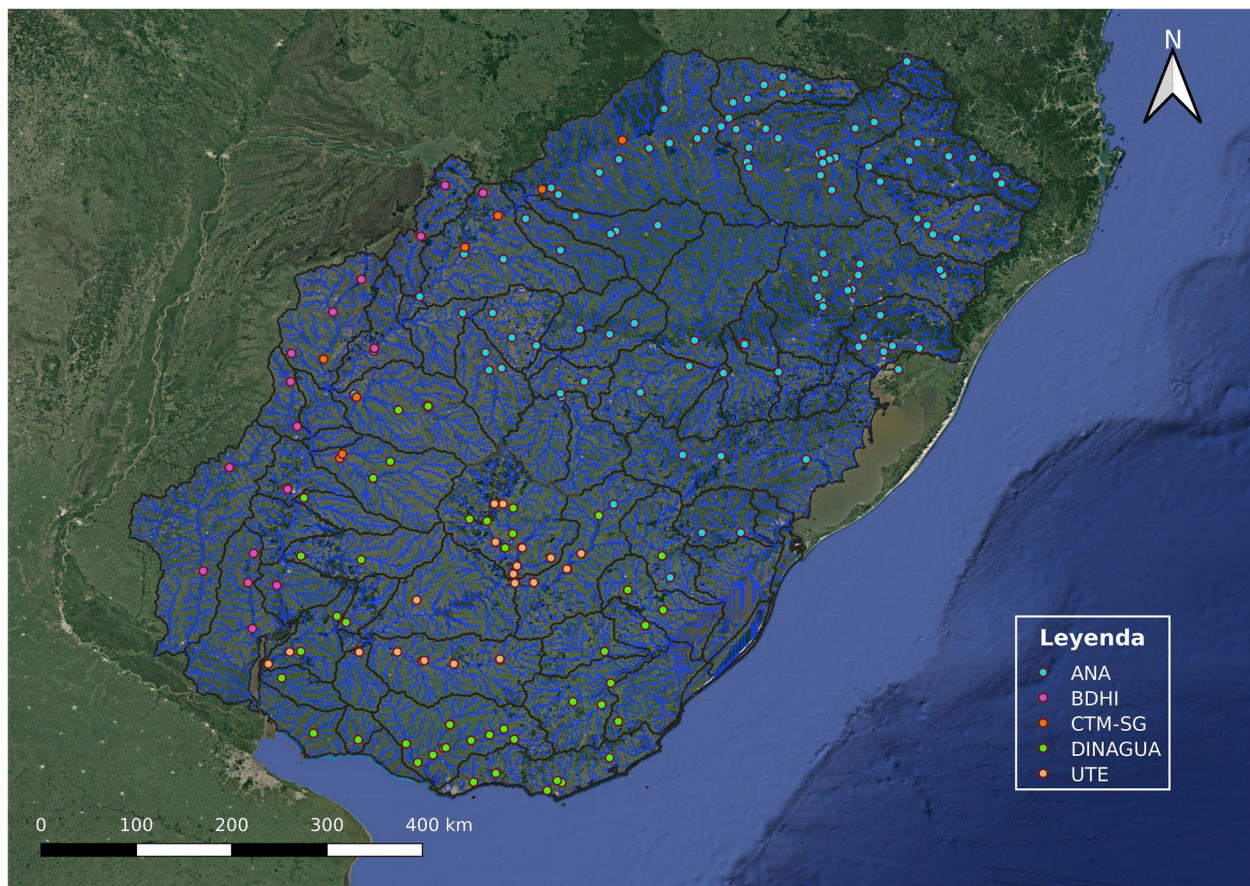


Figura 1. Área de estudio: cuenca del río Uruguay, estaciones fluviométricas disponibles de las agencias UTE, DINAGUA, CTM-SG, ANA y BDHI.

Las principales entradas del modelo (forzantes) son la precipitación y la evapotranspiración potencial. Se utilizarán series de datos de las diferentes estaciones meteorológicas disponibles para los diferentes países. Luego de analizadas las series temporales, se identificarán los años húmedos y secos para definir de forma propicia un período de calibración y validación (15 - 30 años).

En caso de que la calidad de los datos climáticos sean insuficientes o de mala calidad, se utilizará base de datos en grilla de productos como Multi-Source Weighted-Ensemble Precipitation (MSWEP) [Beck *et al.*, 2017] para las precipitaciones y el WATCH Forcing Data ERA-Interim (WFDEI) [Weedon *et al.*, 2014] para la evapotranspiración potencial.

El mapa de suelos en Uruguay proviene de la Carta de Reconocimiento de Suelos del Uruguay, perteneciente al Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca [MGAP, 1976], en Argentina provienen del Atlas de Suelos de la República Argentina [INTA, 1990] y en Brasil, del Instituto Brasileiro de Geografía e Estadística (IBGE) [<https://ibge.gov.br/>].

El mapa de uso de suelos (“Land cover”) es derivado del Agencia Espacial Europea (ESA) “The Land Cover Climate Change Initiative (CCI) Climate Research Data Package (CRDP)” con una resolución de 300 m x 300m. El archivo contiene el uso de suelos para todos los países desde 1992 a 2015 por lo que se podría evaluar posibles efectos en los cambios de uso del suelo.

Los mapas de suelo, uso de suelo, y geología de cada país serán unificados en un único sistema, que permitirá identificar la distribución espacial y rangos de valores de los parámetros efectivos del modelo hidrológico a ser calibrados.

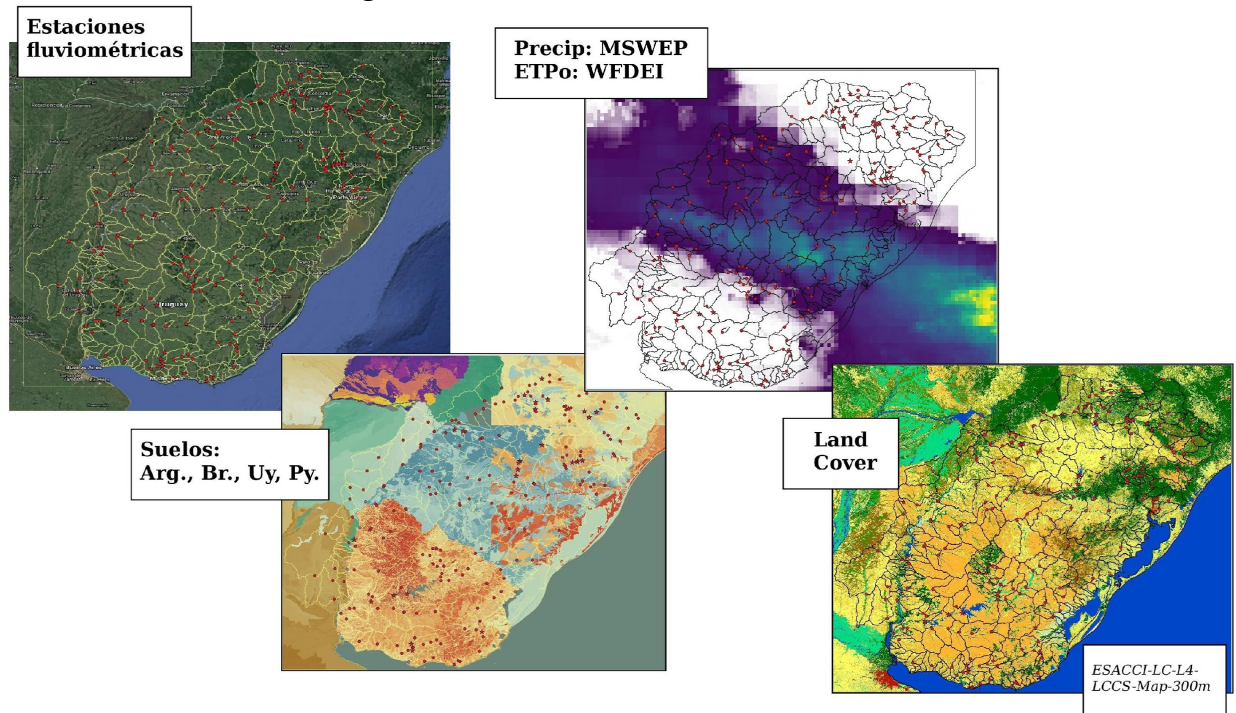


Figura 2. Información de entrada del modelo. Mapa de estaciones fluviométricas (panel superior izquierdo), Mapa de los productos de precipitación (MSWEP) y evapotranspiración potencial (WFDEI) (panel superior derecho), Mapas de tipos de suelos (panel inferior izquierdo), Mapa de usos del suelo (panel inferior derecho).

2.3 Modelo hidrológico

La modelación será de tipo continua, con un paso de tiempo diario y en grillas regulares con resolución espacial de 1 Km x 1 Km.



Los modelos hidrológicos a utilizar serán HBV-96 [Lindstrom, 1997] y PDM [Moore, 2007]. Ambos modelos simulan los procesos de generación de escurrimiento para el pronóstico de caudales continuos. El tránsito de la escorrentía (superficial, subsuperficial y subterránea) generada en cada una de las celdas será propagado por la red de drenaje mediante los métodos Onda Cinemática y Muskingum-Cunge-Todini [Todini, 2007].

Se realizará un análisis de sensibilidad de los parámetros a calibrar con el objetivo de entender mejor su comportamiento y su incidencia en los hidrogramas de salida de los modelos. Aquellos parámetros que sean insensibles serán descartados del proceso de calibración. La calibración de los modelos se realizará comparando los hidrogramas simulados con los observados. Para definir la bondad del ajuste se definirán varias funciones objetivos. Se aplicará una calibración multi-objetiva [Gupta *et al.*, 1998] y se utilizará el código de Borg [Hadka *et al.*, 2013] que implementa algoritmos del tipo genéticos para calibración automática de problemas multi-objetivos.

Dado que muchas de las subcuencas a calibrar no cuentan con información observada, para poder ser calibradas se utilizarán técnicas de regionalización espacial para la determinación de sus parámetros [Samaniego *et al.*, 2010; Wagener and Wheeler, 2006].

Se buscará relacionar los parámetros efectivos de los modelos con las propiedades morfológicas de las cuencas y características de los suelos. A partir de estas relaciones se inferirá el valor de los parámetros en las cuencas que no se tengan observaciones.

Se validará el modelo utilizando observaciones independientes al del proceso de calibración.

3 CONCLUSIONES

Actualmente el proyecto se encuentra en su etapa inicial, se ha desarrollado una base de datos que integra las estaciones meteorológicas y fluviométricas de las diferentes fuentes de información para los cuatro países que conforman la cuenca; posteriormente se realizará el análisis de calidad de los datos mencionado anteriormente. La unificación de los mapas de suelos y geología, también se encuentra en desarrollo.

Una vez procesada toda la información de entrada del modelo, se implementarán los modelos. Se espera obtener el desarrollo de una herramienta útil para la gestión de los recursos hídricos.

4 REFERENCIAS

- Beck, H. E., Van Dijk, A. I., Levizzani, V., Schellekens, J., Gonzalez Miralles, D., Martens, B., & De Roo, A. (2017). MSWEP: 3-hourly 0.25 global gridded precipitation (1979-2015) by merging gauge, satellite, and reanalysis data. *Hydrology and Earth System Sciences*, 21(1), 589-615.
- Crisci, M., Chreties, C., & Silveira, L. (2015). Simulación hidrológica continua en la cuenca del río Cuareim con el modelo MGB-IPH. *Innotec*, (10 ene-dic), 40-48.
- Gamazo, P., Bondarenco, M., Failache, N., Soler, J., Silveira, L., Chreties, C., Crisci, M. (2014). Modelación hidrológica a escala espacial del balance hídrico superficial, OEA Fundación desarrollo regional de Salto Grande, Informe de avances, p. 1-59.
- Gupta, H. V., Sorooshian, S., & Yapo, P. O. (1998). Toward improved calibration of hydrologic models: Multiple and noncommensurable measures of information. *Water Resources Research*, 34(4), 751-763.
- Hadka, D., & Reed, P. (2013). Borg: An auto-adaptive many-objective evolutionary computing framework. *Evolutionary computation*, 21(2), 231-259.
- INTA (1990). Atlas De Suelos de la República Argentina, E 1:500.000 y 1:1.000.000. SAGyP, INTA CIRN-Proyecto PNUD ARG 85/019.
- Lehner, B., & Grill, G. (2013). Global river hydrography and network routing: baseline data and new approaches to study the world's large river systems. *Hydrological Processes*, 27(15), 2171-2186.
- Lindström, G., Johansson, B., Persson, M., Gardelin, M., & Bergström, S. (1997). Development and test of the distributed HBV-96 hydrological model. *Journal of hydrology*, 201(1-4), 272-288.

- MGAP, Dirección de Suelos y Aguas (1976). "Carta de Reconocimiento de Suelos del Uruguay a escala 1:1.000.000".
- Moore, R. J. (2007). The PDM rainfall-runoff model. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, 11(1), 483-499.
- Samaniego, L., Kumar, R., & Attinger, S. (2010). Multiscale parameter regionalization of a grid-based hydrologic model at the mesoscale. *Water Resources Research*, 46(5).
- Silveira, L., Chreties, C., Crisci, M., Usera, G., & Alonso, J. (2015). Sistema de alerta temprana para previsión de avenidas en la ciudad de Durazno. *Innotec*, (10 ene-dic), 56-63.
- Todini, E. (2007). A mass conservative and water storage consistent variable parameter Muskingum-Cunge approach. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, 4(3), 1549-1592.
- Wagner, T., & Wheeler, H. S. (2006). Parameter estimation and regionalization for continuous rainfall-runoff models including uncertainty. *Journal of hydrology*, 320(1-2), 132-154.
- Weedon, G. P., Balsamo, G., Bellouin, N., Gomes, S., Best, M. J., & Viterbo, P. (2014). The WFDEI meteorological forcing data set: WATCH Forcing Data methodology applied to ERA-Interim reanalysis data. *Water Resources Research*, 50(9), 7505-7514.
- Werner, M., Schellekens, J., Gijsbers, P., van Dijk, M., van den Akker, O., & Heynert, K. (2013). The Delft-FEWS flow forecasting system. *Environmental Modelling & Software*, 40, 65-77.