

APLICACIÓN Y CALIBRACIÓN PRELIMINAR DE UN MODELO HIDROLÓGICO DISTRIBUIDO EN UNA CUENCA FUERTEMENTE ANTROPIZADA

Pablo T. Stehli¹, Juan F. Weber¹ y Leandro Vestena²

¹Laboratorio de Hidráulica – Dpto. de Ingeniería Civil. Facultad Regional Córdoba, Universidad Tecnológica Nacional. Argentina.

²Laboratório de Hidrologia, Departamento de Geografia, Universidade Estadual do Centro-Oeste, Guarapuava - Paraná – Brasil.
E-mail: pablo_stehli@hotmail.com; jweber@frc.utm.edu.ar; lvestena@gmail.com

Introducción

Los entornos urbanos son sistemas muy complejos debido a su variabilidad en una amplia gama de escalas espaciotemporales, y a la interacción entre las actividades humanas y los procesos naturales. Un ejemplo de ello, es el continuo proceso de urbanización que cambia la cobertura de la tierra y ejerce una fuerte influencia en el comportamiento hidrológico de las cuencas urbanas.

A lo largo del tiempo se han desarrollado numerosos modelos hidrológicos para ser aplicados en cuencas urbanas. Se los pueden clasificar según si tienen una base física, conceptual o empírica, pero también se pueden clasificar según su resolución espacial y su capacidad de representar la complejidad de la hidrología urbana, de esta forma se agrupan en semi-distribuidos, totalmente distribuidos o de conjunto de celdas.

En este trabajo se utiliza un modelo hidrológico totalmente distribuido como TREX para modelar los procesos hidrológicos superficiales que se ocasionan en una cuenca urbana y SWMM para simular los procesos hidráulicos que allí se producen.

Se presenta la aplicación de ambos modelos en conjunto en una cuenca urbana y la calibración de los parámetros de los modelos para un evento.

Modelo TREX

TREX (Two-dimensional Runoff, Erosion, and eXport model) es un modelo bidimensional de escurrimiento, erosión y transporte de sedimentos y contaminantes (England et al, 2007; Velleux et al, 2008). Los procesos hidrológicos simulados son: precipitación, interceptación, infiltración y pérdidas por transmisión en el cauce, almacenamiento, flujo superficial y en canales y derretimiento de nieve.

Para modelar la infiltración tanto en cuenca como en cauces se utiliza la relación de Green y Ampt. El flujo superficial está gobernado por las leyes de conservación de la masa y de la cantidad de movimiento. TREX utiliza la aproximación de la onda difusiva unidimensional en cauces y bidimensional en la superficie de la cuenca, suponiendo que el flujo es turbulento y que la resistencia al flujo se puede describir utilizando la formulación de Manning.

Modelo SWMM

SWMM (Storm Water Managment Model) es un modelo desarrollado por la USEPA (U.S. Environmental Protection Agency). Este modelo ha sido especialmente desarrollado para la simulación de sistemas de desagües pluviales y cloacales en forma combinada o separada (EPA, 2005). Es ampliamente utilizado para el modelado del drenaje urbano. El flujo en la red de conductos está dado por una solución numérica de las ecuaciones de Saint-Venant. Esto requiere una descripción detallada de la red de drenaje (nodos, características de conductos, elevaciones, etc).

Modelación en conjunto de TREX con SWMM

De la aplicación del modelo TREX en áreas urbanas (Stehli et al 2016, Giangola-Murzyn, 2013) se verifica que el mismo no

incluye las formulaciones para simular el funcionamiento de las bocas de tormenta y los conductos cerrados. Como estos elementos son de gran importancia en la dinámica de las cuencas urbanas, se procedió a la modificación del código fuente de TREX para que simule el funcionamiento de las bocas de tormenta. Las modificaciones fueron realizadas en el módulo de infiltración. Existirán celdas en donde al haber escurrimiento superficial se infiltra una porción del mismo dependiendo el tipo y característica de boca de tormenta a modelar.

Posteriormente, se estableció un procedimiento de modelación en conjunto con SWMM para simular los conductos enterrados como así también los arroyos y cauces naturales. En primer lugar se modeló la cuenca con el modelo TREX teniendo en cuenta las bocas de tormentas, es decir, con TREX se modeló los procesos hidrológicos superficiales. Los cauces a cielo abierto en TREX se representaron como un tipo de suelo especial en el cual se infiltra todo el escurrimiento que llega a esa celda. Posteriormente con SWMM se modelaron los elementos hidráulicos del sistema, esto es tanto las conducciones cerradas como los canales y arroyos, teniendo como ingreso las salidas de TREX correspondientes a las bocas de tormenta y a los arroyos o canales a cielo abierto.

Al realizar este procedimiento, se realizaron programas *ad-hoc* para extraer de los mapas de infiltración de salida de TREX los valores de caudales a ingresar en cada nodo de boca de tormenta o cauce de SWMM.

Caso de aplicación

El caso de estudio presentado en este trabajo es la Cuenca del Río Cascavel, en el municipio de Guarapuava localizada en el Centro Sur del Estado de Paraná, Brasil. La cuenca tiene un área aproximada de 81,03 km². De su área total, 55,48 km² es decir, 68,6% están dentro del perímetro urbano oficial de la localidad de Guarapuava (Figura 1).



Figura 1.- Cuenca del Río Cascavel – Adaptado de Gomes (2014).

Para la modelación de la cuenca se utilizaron los siguientes datos de entrada, los cuales fueron procesados para realizar los modelos en TREX y SWMM.

Topografía: El modelo digital de elevación fue elaborado a través de la interpolación lineal de datos relevados por distintas campañas efectuadas por la Municipalidad de Guarapuava, asignadas por la Universidad Estatal de Centro Oeste (UNICENTRO) de Brasil.

Uso y tipo de suelo: Se utilizaron los mapas elaborados por Gomes (2014). En lo que respecta al mapa de uso de suelo, el

mismo es resultado del procesamiento de imágenes Rapideye del 27/09/2011. De la clasificación se evidencia que predominan las clases de vegetación rastrera/cultivo y las áreas construidas con un porcentaje de 26,7 % y 35,8 % respectivamente, del área total. Los tipos de suelo en la cuenca son tres: tres: latosolos brunos y nitosolos brunos y litólicos. Precipitaciones: Se seleccionaron eventos históricos correspondientes a una estación pluviográfica y dos estaciones pluviométricas. Las fechas de los eventos seleccionados van desde Junio de 2011 hasta diciembre de 2013, en correspondencia a la existencia de datos de caudales líquidos.

Caudales líquidos: Se utilizaron para la calibración los resultados de medición de un limnógrafo automático que se encuentra en coincidencia a la estación pluviográfica, dentro de la cuenca Cascavel (no en el punto de cierre de la misma).

Estos datos se adecuaron especialmente para la aplicación en TREX y SWMM. En el modelo digital de elevaciones se realizó la sobre-elevación de los sectores construidos con ayuda de un plano catastral para simular las barreras que producen las construcciones. Se elevó 2,0 metros estas celdas. Sumado a ello, se descendieron 0,15 m las celdas correspondientes a las calles.

En el mapa de tipo de suelo se agregaron los tipos correspondientes a las distintas bocas de tormenta existentes en la cuenca, las cuales fueron relevadas a través de Google Street View®, esto debido a la inexistencia de documentos que indiquen la cantidad y ubicación de las mismas. También se agregaron dos tipos de suelo adicionales, uno para simular un suelo impermeable en correspondencia a las construcciones y calles pavimentadas o asfaltadas y otro tipo de suelo totalmente permeable para simular las celdas correspondientes a los arroyos y cauces naturales.

Con estos mapas, y el de uso de suelo, se elaboraron los archivos de ingreso para el modelo TREX. Debido a la densidad de bocas de tormenta, la resolución del mapa de uso de suelo (5 m x 5 m) y la densidad de levantamientos topográficos dentro de la zona urbana, se eligió realizar las modelaciones con celdas de 5 m x 5 m en las áreas urbanas y celdas de 30 m x 30 m en áreas rurales, dividiendo la cuenca en 8 subcuencas.

En SWMM se creó la red de drenaje compuesta por nodos correspondientes a las bocas de tormenta (que tienen como ingreso el flujo infiltrado en TREX en ese tipo de suelo) y nodos cauces (que tienen como ingreso el flujo infiltrado en TREX en el tipo de suelo cauce) y los conductos que representan los cauces. Estos elementos se modelaron utilizando, el relevamiento realizado anteriormente para ubicar las bocas de tormenta y por mapas desarrollados por el Instituto Militar donde representan la red de drenaje natural. Al no existir documentación de ubicación y características de conductos, se simuló la red como una red cerrada donde los conductos corren en la parte central de las calzadas y se unen entre ellos en un nodo auxiliar al intersectarse. Las bocas de tormenta descargan a la red a través de un conducto que une a las mismas al nodo auxiliar más cercano. De la misma forma para la conexión conductos-cauce.

Lo anterior se automatizó y luego se realizaron diversas correcciones y procesamientos para el correcto funcionamiento y simulación en condiciones reales.

Resultados

Se presentan a continuación los resultados preliminares de la calibración un evento seleccionado.

Según los caudales medidos en el evento, se extrajo del mismo el caudal base para poder comparar entre escurrimiento directo medido y escurrimiento directo simulado. Esto es consecuencia, de que en TREX no es posible simular los fenómenos que producen variaciones en los caudales bases.

A continuación se presentan los resultados gráficos del evento calibrado y los parámetros estadísticos de ajuste (Figura 2 y Tabla 1).

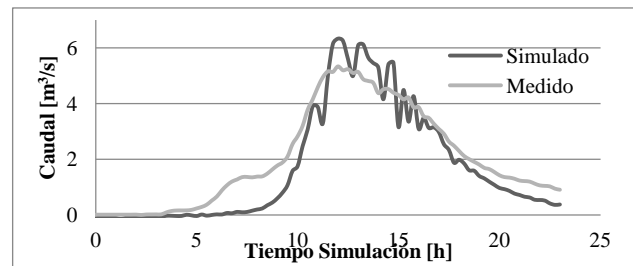


Figura 2.- Comparación de escurrimientos directos medidos y simulados – Evento de 27 de Agosto de 2013.

Tabla 1.- Parámetros estadísticos de ajuste obtenidos.

R ²	NSE	PBIAS	Media	Desvio
0,922	0,844	0,20 %	0,553	0,743

Se observa un aceptable ajuste de los parámetros calibrados tanto en forma visual (hidrogramas) como así también, se observan los parámetros estadísticos del ajuste obtenido.

Se observa en los caudales simulados por SWMM una fluctuación de los mismos cuando estos se acercan en su valor al del pico de crecida.

Para la modelación de este evento completo se tardó aproximadamente 4 días para modelar el escurrimiento en TREX y 4 horas para modelar el sistema hidráulico en SWMM.

Conclusión

Se logró la aplicación, previa modificación de código fuente de TREX, de un modelo totalmente distribuido a una cuenca fuertemente antropizada teniendo en cuenta los componentes hidráulicos existente en ella. Luego, se logró un adecuado ajuste de los parámetros para un evento seleccionado. Para lo anterior, aparte de la modificación en el código fuente fue necesario estrategias en la modelación de la cuenca entera, debido a la cantidad de datos que se manejan (resultado de la resolución adoptada) y de los fenómenos que se simulan en cada modelo seleccionado.

Queda pendiente la calibración de los parámetros para una serie de eventos seleccionados y la posterior validación de los resultados.

Referencias bibliográficas

- England, J., Velleux, M., Julien, P. (2007). "Two-dimensional simulations of extreme floods on a large watershed". *Journal of Hydrology*, 347(1):229-241.
- EPA, 2005. SWMM – Manual del Usuario (Version 2005, en español).
- Giangola-Murzyn, (2013). "Modelación y parametrización hidrológica de la ciudad, resistencia a inundaciones". Tesis de Doctorado. Université Paris-Est.
- Gomes, E. S. (2014). "A dinâmica hidrológica fluvial em bacias hidrográficas com diferentes taxas de impermeabilização do solo em Guarapuava/PR". Dissertação como requisito de Mestre em Geografia, UNICENTRO, Guarapuava, Parana.
- Stehli, P., Weber J., Vestena L. (2016). "Avances en la aplicación de un modelo hidrológico distribuido en una Cuenca fuertemente antropizada". *XXVII Congreso Latinoamericano de Hidráulica 2016*.
- Velleux, M., England, J., Julien P. (2008). "TREX: Spatially Distributed Model to Assess Watershed Contaminant Transport and Fate". *Science of the Total Environment*, 404(1):113-128.