

# MODELO DRENAJE URBANO ACOPLADO A INFORMACIÓN RADAR Y GESTIÓN DEL RIESGO

E. Zapata, N. Velásquez y C.D. Hoyos

Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín, Colombia.

E-mail: ezapataat@gmail.com

## Introducción

En la actualidad diferentes ciudades reportan emergencias relacionadas con el colapso de la malla transportadora de las aguas lluvia (**Karamouz 2014, Campana 2001**). Esta problemática incrementa con el aumento de las zonas impermeables (o semi-impermeables) en las ciudades (**Abebe 2018**). Además, existen afectaciones relacionadas con el cambio climático y su influencia en el comportamiento de la lluvia (**Runhaar 2012, Douglas 2008**). El colapso de la malla tiende a limitarse a pérdidas económicas relacionadas con el flujo vehicular y daños a viviendas y establecimientos (**Swiss Re 2013**). En algunos casos la solución se ha encontrado en la intervención directa de la malla (**Ngamaliu 2017**). Debido a temas de infraestructura y financieros, esta solución tiende a ser costosa y en ocasiones de poca viabilidad. Debido a lo anterior, es de utilidad contar con un sistema de alertas mediante el cual se brinde pronóstico y aviso previo a la ocurrencia de un evento, de modo que se le dé una solución pronta.

En Medellín, Colombia son comunes las emergencias por inundación relacionadas con el colapso de la red de drenaje urbano o alcantarillado de aguas lluvia. Se presentan cuando la cantidad de agua producida en un evento de lluvia excede la capacidad de las redes de drenaje y se generan encharcamientos en las vías y traumatismo en el tránsito, principalmente en zonas aledañas a los deprimidos viales.

Para atender esta problemática el SIATA (Sistema de Alerta Temprana de Medellín y el Valle de Aburrá) desarrolla y opera un modelo de drenaje urbano. En el cual la precipitación registrada en tiempo real por un radar meteorológico banda C, se integra al modelo hidráulico EPA-SWMM (**Environmental Protection Agency's - Storm Water Management Model**) con el fin de conocer la respuesta en la red de drenaje urbano. Así se generan alertas relacionadas con las redes de drenaje urbano en tiempo real y en condiciones de precipitación pronosticada en las siguientes horas. En el modelo se consideran además las condiciones hidráulicas del cauce de descarga para la red de drenaje.

## Modelos de drenaje urbano

Con el crecimiento de las ciudades, el asentamiento cada vez mayor de las comunidades aledañas genera la necesidad de considerar el drenaje urbano como una herramienta de planificación. En la literatura se reportan trabajos relacionados con el tema desde 1960.

Los modelos de drenaje urbano han sido desarrollados para planificación de ciudades, rectificación de diseños insuficientes, prevención de inundaciones, calidad de aguas y por aspectos sociales y económicos. De acuerdo con la necesidad se han integrado desarrollos computacionales tales como el SEWGERMS (**Sanitary and Combined Sewer Modeling Software (SewerGEMS)**). Además se han determinado la cantidad de agua que se incorpora a la red de alcantarillado en un evento de lluvia.

Para los eventos identificados se ejecuta el modelo EPA-SWMM con la información procesada. El modelo es ejecutado por la línea de comandos utilizando el lenguaje de programación *Python2.7* y el complemento *swmmio* (**Erispaha 2018**). El uso de una interfaz de programación como *Python 2.7* permite agilizar la implementación del modelo y establecer una ejecución operacional del mismo.

## Resultados

En el análisis de resultados se extraen algunos descriptores del acoplado sistemas de información geográfica (SIG), algoritmos de optimización de costos y de pronóstico para impacto ambiental y social (**Chen 2009, Barreto 2009**) como complemento a los modelos de drenaje urbano.

En el presente trabajo se plantea el uso del sistema EPA-SWMM en conjunto con información de radar a una escala de 5 minutos. Se ha elegido este modelo debido a que ha sido ampliamente probado (**Jang 2007, Van Der Sterren 2014, Shinma 2014**). La vinculación del modelo con un radar meteorológico de alta resolución es fundamental, ya que usualmente los eventos extremos asociados al colapso de la red suelen ser convectivos con una alta variabilidad espacio-temporal. El buen entendimiento de esta variabilidad se relaciona directamente con el desempeño del modelo y su capacidad de obtener alertas oportunas.

## Metodología

El modelo de drenaje urbano desarrollado por SIATA en la ciudad de Medellín, Colombia fue implementado en algunos puntos críticos de la red de alcantarillados. La información de lluvia para los eventos es obtenida a partir del radar meteorológico banda C.

Uno de los puntos críticos en la ciudad se ubica en el sector de Bulerías (zona centro de la ciudad). En este punto se evaluaron 174 eventos, de los cuales 15 han presentado colapsos de gran magnitud. Los eventos han sido separados en categorías de riesgo, los eventos de mayor magnitud se han validado con evidencia de colapso en los organismos de socorro, noticieros y divulgación en redes sociales. Para el desarrollo del modelo se consideran tres etapas: calibración, validación y operación en tiempo real.

## Información

El modelo utiliza información de las redes de alcantarillado pluvial de las zonas de interés. Requiere información de la topología de la red, características de las cámaras de inspección (diámetro, profundidad, cotas), características de las tuberías (diámetro, longitud, rugosidad, cotas). La información es suministrada por EPM (Empresas públicas de Medellín). En el presente caso se ha implementado el modelo en una sub-zona de la ciudad (Barrio Bulerías), en la cual el alcantarillado presenta inconvenientes. La red de alcantarillado está constituida por 140 cámaras de inspección que conducen las aguas de escorrentía de aproximadamente 0.64 km<sup>2</sup>, de los cuales el 82% corresponde a zonas impermeables. La red de drenaje tiene cuatro puntos de descarga en la quebrada La Picacha.

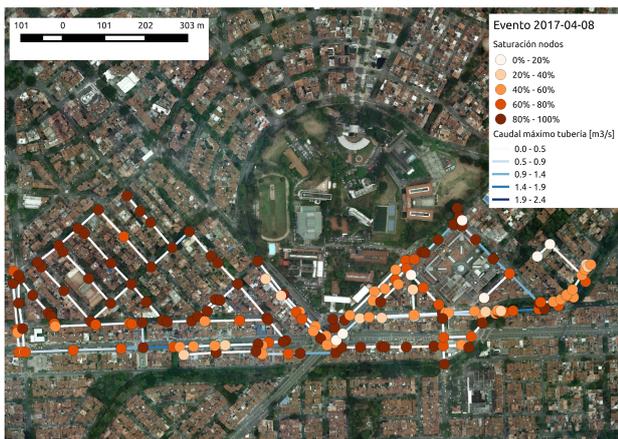
La información de radar y pluviómetros es usada para registros entre el 2014 y el 2017. La información en tiempo real es empleada para la operación continua del modelo. Complementario a la información histórica, se requiere información sobre las características de la superficie para comportamiento de la red de drenaje. En las cámaras de inspección se calcula saturación, caudal y volumen desbordado. Por su parte en las tuberías se calcula caudal y velocidad máxima, relación de llenado y profundidad promedio.

Los resultados en eventos históricos se han validado con la

evidencia histórica reportada por los organismos de socorro. En 2017 se reportaron 3 casos en los cuales el sector de Bulerías colapsó, en los tres casos el modelo acertó con altos porcentajes de saturación en diferentes cámaras. Igualmente, en eventos donde no se han reportado emergencias el modelo no presenta saturaciones importantes.

Para la zona de Bulerías el evento más crítico reportado en los últimos años se presentó en la tarde del 8 de abril de 2017. La precipitación se concentró en la zona de influencia aproximadamente por 70 minutos con acumulados cercanos a 30 mm que ocasionaron cierre de vías aledañas y congestión vehicular.

Para este caso se obtuvieron resultados de saturación en nodos y velocidad máxima en las tuberías. En la **Figura 1** se presentan dichos resultados. La saturación en los nodos se define como la relación entre la línea de energía máxima en el nodo y la profundidad de la cámara de inspección (justo antes de desbordar). Se define 80% como umbral crítico de saturación en los nodos y a partir del cual se pueden presentar fallas en la red. Para este evento se registran cerca de 70 cámaras en dicha zona crítica (45% de la red), siendo el evento más crítico de los 174 evaluados en este lugar.



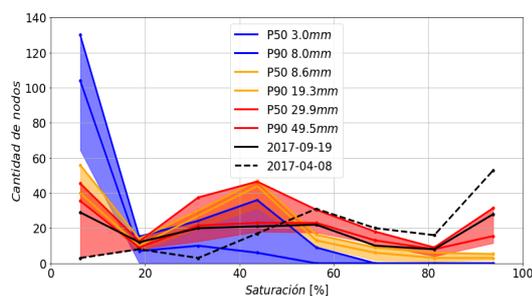
**Figura 1.-** Resultados en cámaras y tuberías evento 2017-04-08.

## Modelo estadístico

Se cuenta con una aproximación estadística, adicional a la implementación conceptual del modelo. La aproximación se basa en los resultados de los eventos históricos utilizados en las etapas de calibración y validación. En el caso piloto Bulerías la historia se compone de 174 eventos de distintas magnitudes.

Para el modelo estadístico se requiere únicamente el acumulado de precipitación, el cual se puede estimar en tiempo real y para varias horas de pronóstico. El resultado de este modelo es la asignación de una categoría de riesgo (Bajo, Moderado y Alto).

En la **Figura 2** se presentan las saturaciones obtenidas en la red de drenaje para la totalidad de eventos. En base a su comportamiento son divididas en tres categorías de riesgo, las cuales a su vez se asocian a un rango de acumulados de lluvia.



**Figura 2.-** Distribución de la saturación para el histórico de eventos en Bulerías. Categorías de riesgo asociadas por colores: baja azul, media amarillo y alta rojo.

## Conclusiones

Se ha implementado el modelo EPA-SWMM en un área urbana densamente poblada. La calibración, validación y operación del modelo se ha realizado con registros de precipitación distribuida de radar. El uso de información de detalle ha permitido obtener un desarrollo aceptable del modelo en términos de pronóstico de las condiciones de la malla. Debido a falta de registros no se ha logrado realizar una validación numérica, sin embargo, los resultados son acordes con los reportes de eventos extremos.

En una futura implementación del modelo se buscará obtener un acople de este con condiciones de borde sobre quebradas, las cuales, serán obtenidas mediante modelación hidrológica e hidráulica de la misma. De forma paralela, el modelo será implementado en diferentes regiones de la ciudad con información actualizada de los alcantarillados.

## Referencias bibliográficas

- Abebe, Yekenalem Kabir, Golam Tesfamariam, Solomon, 2018** Assessing urban areas vulnerability to pluvial flooding using GIS applications and Bayesian Belief Network model.
- Barreto Wilmer, Zoran Vojinovic, Roland Price, and Dimitri Solomatine, 2009** Multiobjective Evolutionary Approach to Rehabilitation of Urban Drainage Systems.
- Campana, Néstor A Tucci, Carlos E M, 2001** Predicting floods from urban development scenarios: case study of the Dilúvio Basin, Porto Alegre, Brazil.
- Chen, Jian Hill, Arleen A Urbano, Lensyl D, 2009** A GIS-based model for urban flood inundation.
- Douglas, Ian Alam, Kurshid Maghenda, 2008** Unjust waters: climate change, flooding and the urban poor in Africa.
- Environmental Protection Agency's (EPA)** <https://www.epa.gov/water-research/storm-water-management-model-swmm>
- Erispaha Adam, 2018** SWMMIO <https://github.com/aerispaha/swmmio>
- Jang, Suhung Cho, Minock Yoon, Jaeyoung Yoon, 2007** Using SWMM as a tool for hydrologic impact assessment.
- Karamouz, M., Zahmatkesh, Z., Nazif, S., 2014.** Quantifying Resilience to Coastal Flood Events: A Case Study of New York City. In: World Environmental and Water Resources Congress 2014. American Society of Civil Engineers, Reston, VA, pp. 911e923. <https://doi.org/10.1061/9780784413548.094>.
- Ngamalieu, Ulrich and Iglesias-Rey, Pedro L. and Martínez-Solano, F. Javier and Saldarriaga, Juan, 2017** Rehabilitación de redes de drenaje mediante la combinación de tanques de retención y sustitución de conducciones (Rehabilitation of Drainage Networks Through the Combination of Retention Tanks and Replacement of Pipelines) (November 30, 2017). Ibero-American Seminar on Water and Drainage Networks (SEREA 2017).
- Runhaar, Hens Mees, Heleen Wardekker, Arjan van der Sluijs, Jeroen Driessen, Peter P J, 2012** Adaptation to climate change-related risks in Dutch urban areas: stimuli and barriers.
- Shinma, T Arriero Reis, LF, 2014** Ribeiro Incorporating Multi-event and Multi-site Data in the Calibration of SWMM.
- Swiss Re, 2013. The Road to Flood Resilience in Canada** [www.swissre.com/library/The\\_road\\_to\\_flood\\_resilience\\_in\\_Canada.html](http://www.swissre.com/library/The_road_to_flood_resilience_in_Canada.html)
- Van Der Sterren, Marlène Rahman, Aatur Ryan, Garry, 2014** Modeling of a lot scale rainwater tank system in XP-SWMM: A case study in Western Sydney, Australia.