

Obras de mitigación sustentables aplicadas a inundaciones urbanas

Sustainable mitigation works applied to urban floods

Obras de mitigação sustentável aplicadas a inundações urbanas

DOI: 10.55905/rmuscv2n1-003

Recibido: 23/02/2024

Aceito: 25/03/2024

Luciano José Lopardo¹, Pablo Ezequiel Salvi², María Cecilia Lopardo³

RESUMEN

En los últimos años, el aumento de la densidad de población urbana, especialmente en sectores periféricos, ha contribuido a la impermeabilización de zonas semi rurales, produciendo un excedente de escorrentía superficial que aporta al sistema de drenaje de las ciudades. De esta manera, los sistemas de desagües urbanos se ven limitados en su capacidad, dando lugar a inundaciones cada vez más frecuentes y severas. Es en este punto donde surge la necesidad de incorporar el concepto de desarrollo sustentable como herramienta integral de gestión presente y futura aplicada al drenaje urbano, motivando la aparición de los Sistemas Urbanos de Desagües Sustentables (SUDS). Se trata de la integración de elementos de control de la escorrentía al paisaje urbano, favoreciendo las pérdidas hidrológicas con la finalidad de reducir los excedentes superficiales a tomar por las redes de desagües pluviales. Bajo esta premisa, tomando como zona de estudio una cuenca urbana ubicada al norte de la ciudad de Pergamino, se modelaron distintas alternativas de solución, con la finalidad de reducir los daños que pueda causar una tormenta de diseño de diez años de recurrencia. Los resultados de la modelación en SWMM resultaron satisfactorios, demostrando que la aplicación de los SUDS debe realizarse a gran escala para conseguir un impacto favorable en el hidrograma de crecida de una cuenca urbana. Se aprecia una necesidad de verificar estas obras de pequeña envergadura en modelos que consideren la cuenca como unidad de estudio, permitiendo detectar los efectos perjudiciales que pudieran generarse por su implementación. Asimismo, estas obras traen consigo mejoras en los aspectos sanitarios, sociales y ambientales que merecen ser considerados al momento de evaluar su inversión. Simultáneamente, debe considerarse el establecimiento de medidas no estructurales que impulsen la participación ciudadana en la búsqueda de soluciones a la problemática hídrica y ambiental.

Palabras clave: inundaciones, drenaje urbano, desarrollo sustentable, Sistemas Urbanos de Desagües Sustentables (SUDS), urbanización, elementos de control de escorrentía, pérdidas hidrológicas, modelo SWMM, Dispositivo Regulador en Boca de Tormenta (DRBT), pavimentos y veredas permeables, terrazas ajardinadas extensivas, depósitos de detención, áreas de biorretención.

¹ Licenciado en Ingeniería Hidráulica e Ingeniería Civil por la Universidad Nacional de La Plata, Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de La Plata, Argentina, E-mail: lucianolopardo22@gmail.com

² Licenciado en Ingeniería Hidráulica e Ingeniería Civil por la la Universidad Nacional de La Plata, Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de La Plata, Argentina, E-mail: salvi.pablo94@gmail.com

³ Magíster en Ecohidrología de la Universidad Nacional de La Plata, Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de La Plata, Argentina, E-mail: mclopardo@gmail.com

ABSTRACT

In recent years, the increase in urban population density, especially in peripheral sectors, has contributed to the waterproofing of semi-rural areas, producing a surplus of surface runoff that contributes to the cities' drainage system. In this way, urban drainage systems are limited in their capacity, giving rise to increasingly frequent and severe flooding. It is at this point where the need arises to incorporate the concept of sustainable development as a comprehensive present and future management tool applied to urban drainage, motivating the appearance of Sustainable Urban Drainage Systems (SUDS). It involves the integration of runoff control elements into the urban landscape, favoring hydrological losses with the aim of reducing surface surpluses to be taken by storm drain networks. Under this premise, taking as a study area an urban basin located north of the city of Pergamino, different solution alternatives were modeled, with the aim of reducing the damage that a recurring ten-year design storm could cause. The results of the SWMM modeling were satisfactory, demonstrating that the application of SUDS must be carried out on a large scale to achieve a favorable impact on the flood hydrograph of an urban basin. There is a need to verify these small-scale works in models that consider the basin as a study unit, allowing the detrimental effects that could be generated by their implementation to be detected. Likewise, these works bring improvements in health, social and environmental aspects that deserve to be considered when evaluating your investment. Simultaneously, the establishment of non-structural measures that promote citizen participation in the search for solutions to water and environmental problems should be considered.

Keywords: floods, urban drainage, sustainable development, Sustainable Urban Drainage Systems (SUDS), urbanization, runoff control elements, hydrological losses, SWMM model, Storm Mouth Regulating Device (DRBT), permeable pavements and sidewalks, terraces extensive gardens, detention tanks, bioretention areas.

RESUMO

Nos últimos anos, o aumento da densidade populacional urbana, especialmente nos setores periféricos, tem contribuído para a impermeabilização de zonas semi-rurais, produzindo um excedente de escoamento superficial que contribui para o sistema de drenagem das cidades. Desta forma, os sistemas de drenagem urbana ficam limitados na sua capacidade, dando origem a inundações cada vez mais frequentes e graves. É neste ponto que surge a necessidade de incorporar o conceito de desenvolvimento sustentável como uma ferramenta abrangente de gestão presente e futura aplicada à drenagem urbana, motivando o surgimento de Sistemas de Drenagem Urbana Sustentável (SUDS). Envolve a integração de elementos de controle de escoamento na paisagem urbana, favorecendo as perdas hidrológicas com o objetivo de reduzir os excedentes superficiais a serem levados pelas redes de drenagem pluvial. Sob esta premissa, tomando como área de estudo uma bacia urbana localizada ao norte da cidade de Pergamino, foram modeladas diferentes alternativas de solução, com o objetivo de reduzir os danos que uma tempestade de projeto recorrente de dez anos poderia causar. Os resultados da modelagem SWMM foram satisfatórios, demonstrando que a aplicação do SUDS deve ser realizada em larga escala para obter um impacto favorável no hidrograma de cheias de uma bacia urbana. Há necessidade de verificar essas obras de pequena escala em modelos que considerem a bacia como unidade de estudo, permitindo detectar os efeitos prejudiciais que poderiam ser gerados pela sua implementação. Da mesma forma, essas obras trazem melhorias em aspectos

sanitários, sociais e ambientais que merecem ser considerados na avaliação do seu investimento. Simultaneamente, deve ser considerado o estabelecimento de medidas não estruturais que promovam a participação dos cidadãos na procura de soluções para os problemas hídricos e ambientais.

Palabras clave: inundações, drenagem urbana, desenvolvimento sustentável, Sistemas de Drenagem Urbana Sustentável (SUDS), urbanização, elementos de controle de escoamento superficial, perdas hidrológicas, modelo SWMM, Dispositivo Regulador de Boca de Tempestade (DRBT), pavimentos e calçadas permeáveis, terraços extensos jardins, tanques de retenção, áreas de bioretenção.

1 INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, tanto en Argentina como en otros países de América Latina, se ha registrado un aumento exponencial de la población urbana. Más recientemente, esta tendencia se ha visto acentuada debido a las dificultades que atraviesan las economías regionales. Como consecuencia de este proceso socioeconómico, sumado a la falta de planificación del uso del suelo, el crecimiento de las ciudades ha sido desordenado, especialmente en los sectores periféricos de mayor densidad de población. Esto trae consigo un aumento significativo de los escurrimientos superficiales, produciendo el desborde de los sistemas de desagües urbanos que forman parte del sistema de saneamiento de grandes ciudades. Así, los problemas económicos más importantes causados por este fenómeno en las ciudades están asociados a la escorrentía que genera inundaciones, crecidas, desbordamientos, contaminación difusa y pérdida de servicio de los sistemas de saneamiento.

Tal es el caso de la ciudad de Pergamino que, ubicada sobre la llanura aluvial de su arroyo homónimo y como consecuencia de su rápida urbanización, ha contado con numerosas inundaciones a lo largo de los últimos años.

Figura 1.- Inundación de la ciudad de Pergamino – 7 de abril de 1995.

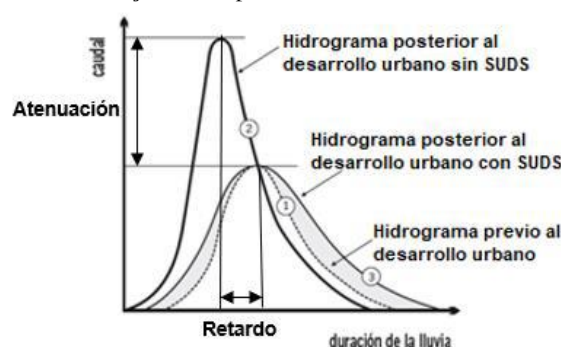


Fuente: Pergamino ciudad y su región (2021).

Tras el análisis de esta problemática recurrente en las grandes urbes, y debido a la necesidad de una gestión eficiente, se presenta el desarrollo sustentable como la herramienta integral de gestión presente y futura que debe ser aplicada también al drenaje urbano. Así, la ingeniería hidráulica debe ofrecer soluciones a los problemas planteados y estas soluciones deben estar basadas en el concepto de desarrollo sustentable. Es en este punto donde nacen los Sistemas Urbanos de Desagües Sustentables (SUDS), definidos como técnicas de gestión de aguas pluviales y planeamiento urbano cuyo objetivo de primer orden es retornar a las condiciones existentes previas a la urbanización.

Se trata de la integración de elementos de control de la escorrentía al paisaje urbano, favoreciendo los procesos hidrológicos previos al desarrollo urbanístico (infiltración, retención, evapotranspiración, almacenamiento). Por lo tanto, los SUDS responden al criterio moderno, el cual consiste en aumentar las pérdidas hidrológicas para reducir los excedentes superficiales a tomar por las redes de desagües pluviales. Se trata de diseños de pequeña escala que, en su conjunto, impactan considerablemente en la reducción del caudal a transportar por las redes de desagües urbanos.

Figura 2.- Hidrogramas de crecida para la situación previa a la inundación, posterior al desarrollo urbano y con la aplicación de SUDS.

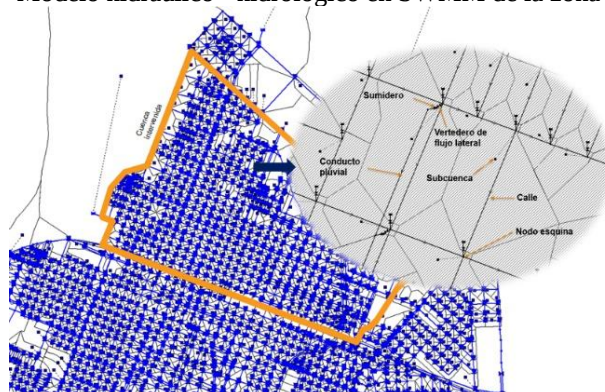


Fuente: José Anta et al. (2012).

2 METODOLOGÍA

Con el objeto de analizar los beneficios que conlleva la aplicación de distintas tipologías de SUDS, se llevó a cabo su modelación a gran escala en una cuenca urbana ubicada al norte de la ciudad de Pergamino, a partir de la implementación del software SWMM (Storm Water Management Model), desarrollado por la División de Recursos Hídricos de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (US Environmental Protection Agency). Se trata de un programa de código abierto que tiene la capacidad de resolver, tanto la hidrología como la hidráulica del sistema en un modelo matemático integrado. Permite utilizar elementos hidrológicos (cuencas, pluviómetros), así como elementos hidráulicos (conductos, conexiones, vertederos, orificios, descargas).

Figura 3.- Modelo hidráulico - hidrológico en SWMM de la zona de estudio.



Fuente: Elaboración propia (2022).

Disponiendo de una serie de datos de 41 años, brindada por el Servicio Meteorológico Nacional, se desarrolló un análisis hidrológico de la zona en estudio, determinándose las precipitaciones correspondientes a la zona rural y urbana. A partir del modelo base de la zona de estudio e incorporando las series temporales de precipitaciones rurales

y urbanas para recurrencias de 5 años, 10 años y 25 años, se obtuvo su comportamiento actual ante dichos eventos.

A partir de la detección de nodos de esquina con tirantes mayores a 30cm (Alcoer-Yamanaka et al., 2016), y en función de los espacios disponibles, se evaluó la implementación de distintas clases de SUDS con el objetivo de disminuir estos niveles en calle, produciendo la atenuación del hidrograma de crecida en los puntos de control de la cuenca. Se consideró la incorporación de dispositivos reguladores en bocas de tormenta (DRBT), pavimentos y veredas permeables en estacionamientos al aire libre y veredas perimetrales, terrazas ajardinadas extensivas en complejos habitacionales, depósitos de detención en plazas y terrenos fiscales, y áreas de biorretención en plazas. La implementación en SWMM de los DRBT y depósitos de detención se realizó mediante volúmenes de almacenamiento provisorio, mientras que las medidas restantes se aplicaron a partir de la herramienta “LID Controls” que brinda el software.



Fuente: Elaboración propia (2022).

Las medidas de mitigación se diseñaron para una crecida de 10 años de recurrencia, evaluando su funcionamiento hidráulico para tormentas más frecuentes, con un período de retorno de 5 años, y verificando su nivel de protección frente a tormentas de mayor envergadura, de 25 años de recurrencia. Por otro lado, vale señalar que, a la modelación con SUDS, se sumó la simulación de un escenario por cada medida estructural propuesta, cuya finalidad radica en la medición de la eficiencia de cada una de ellas.

3 RESULTADOS

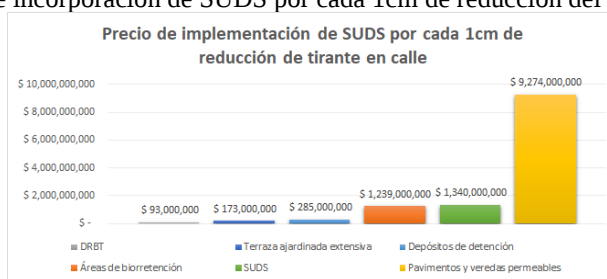
La combinación de distintas medidas estructurales produce una sinergia, que resulta en una baja considerable de los niveles de escorrentía superficial de las zonas más

vulnerables. Desde el punto de vista hidráulico, para la tormenta de diseño, las medidas resultaron satisfactorias, produciendo una importante atenuación del gasto erogado en los puntos de control de la cuenca.

Se evidenció una mejora sustancial del funcionamiento del sistema de drenaje a partir de la incorporación de depósitos de detención y DRBT en los conductos pluviales, atenuando el pico del hidrograma de crecida en las descargas pluviales.

A modo de comparar la eficiencia de las medidas propuestas, se determinó el precio de implementación de cada SUDS por cada 1cm de reducción del tirante en calle, dejando a la vista que los DRBT constituyen el sistema más eficiente, mientras que los pavimentos y veredas permeables no resultan recomendables debido a su alta cotización en el mercado.

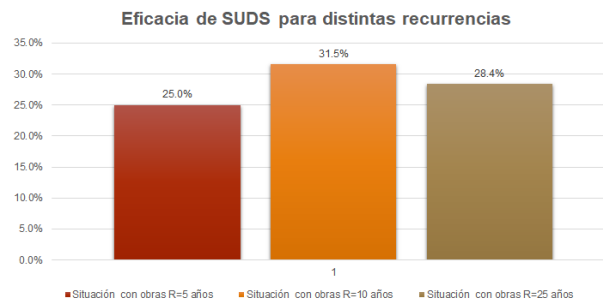
Figura 5.- Valor de incorporación de SUDS por cada 1cm de reducción del nivel de inundación.



Fuente: Elaboración propia (2022).

Adicionalmente, para las crecidas de 5 años y 25 años de recurrencia se obtuvieron valores de retardo negativos, lo que puede deberse a un corrimiento del pico en cada caso, como producto de un cambio en el funcionamiento de las medidas estructurales planteadas. Es decir, se observa que la cuenca modifica su respuesta hídrica frente a eventos de distinta magnitud, con respecto a la tormenta de R=10 años para la cual se diseñaron los SUDS. Asimismo, debe interpretarse que al atenuar una crecida puede suceder que el pico del hidrograma se produzca antes que el correspondiente a la situación sin obras.

Figura 6.- Comparación de la eficacia de los SUDS para distintas recurrencias.



Fuente: Elaboración propia (2022).

Por otro lado, pensar en los SUDS únicamente como obras de mejora de la respuesta hídrica de una cuenca resulta erróneo. Debe entenderse que son medidas que mejoran la calidad de vida de la población en otros aspectos: accesibilidad, calidad de aire, calidad de agua, mejora paisajística, reducción de las temperaturas urbanas, ahorro en obras de saneamiento, entre otros.

4 CONCLUSIONES

Los resultados de la modelación en SWMM arrojaron numerosas conclusiones, entre las que se destaca la complementariedad de los SUDS, debiendo entenderse que su aplicación debe realizarse a gran escala para lograr un impacto significativo en el hidrograma de crecida de una cuenca urbana. Por lo tanto, se aprecia la necesidad de verificar estas obras de pequeña envergadura en modelos que consideren la cuenca como unidad de estudio, permitiendo detectar los efectos perjudiciales que pudieran generarse por su implementación. Al momento de evaluar la inversión en esta clase de medidas, se deben considerar, no solo su impacto favorable en la hidráulica urbana, sino también los aspectos sanitarios, sociales y ambientales que traen consigo y que resultan en una mejora de la calidad de vida de la población. Al mismo tiempo, debe considerarse la incorporación de medidas no estructurales que impulsen la participación ciudadana en la búsqueda de soluciones a la problemática hídrica y ambiental (Capacitaciones, publicidad, sistemas de financiamiento).

Analizando en detalle el aporte de cada medida estructural, queda expuesta la mayor efectividad de los sistemas que retienen un determinado volumen de agua precipitada, frente a aquellos que únicamente promueven la infiltración. Asimismo, al observar la relación de precios por cada centímetro de reducción del tirante en calle, se concluye que los DRBT constituyen el sistema más eficiente.

La modelación y aplicación de los Sistemas Urbanos de Desagües Sustentables

presenta limitaciones que generan incertidumbre en su comportamiento hidráulico. Debido a que aún no están definidos sus criterios de diseño, los factores hidrológicos considerados en la modelación son valores aproximados. Otra limitante fundamental que considerar es el espacio disponible, si bien en muchos casos es insuficiente debe comprenderse que la premisa de los SUDS es maximizar las pérdidas hidrológicas explotando al límite los espacios que brinda el entorno urbano. Es decir, los SUDS son obras complementarias de mitigación de daños que funcionan en conjunto con el sistema de drenaje de las ciudades, mas no impiden que se produzcan inundaciones urbanas.

Los SUDS se adaptan al entorno urbano con facilidad, por lo que al momento de planificar la expansión urbana se recomienda incorporarlos como elementos de control de esorrentía.

Con motivo de planificar la incorporación de estas medidas estructurales, es recomendable contar con una base de datos abierta y actualizada que permita, entre otras cosas, conocer las zonas más vulnerables a partir de manchas de inundación, así como la distribución del sistema de drenaje urbano actual. Esta infraestructura de datos espaciales, brindada en algunos casos por los municipios, es una herramienta sustancial al momento de planificar la expansión urbana, actuando como plataforma de comunicación de medidas estructurales y no estructurales tales como las obras hidráulicas ejecutadas hasta el momento y la ubicación de centros de evacuación, respectivamente. Con el objetivo de agilizar la modelación hidráulica – hidrológica, se recomienda añadir a la base de datos abierta un modelo SWMM actualizado permanentemente con las obras existentes y las proyectadas. De esta manera se conseguiría una reducción en los tiempos de modelación, obteniéndose un modelo con criterios unificados que facilitaría el estudio de medidas estructurales en la ciudad y reduciría los errores, aumentando así la confiabilidad de los resultados.

REFERENCIAS

Alcocer Yamanaka V. H., Rodríguez Varela J. M., Bourguett Ortiz V. J., Llaguno Guilberto, O. J., Albornoz-Góngora P. M. (2016) “Metodología para la generación de mapas de riesgo por inundación en zonas urbanas”.

José Anta, Jerónimo Puertas, Joaquín Suárez López, Héctor del Río Cambeses, David Hernández Oubiña (2012) “Gestión de las aguas pluviales en ámbito urbano: Las técnicas de drenaje urbano sostenible. Río Mandeo, cuenca fluvial y desarrollo sostenible”.