

Los Sistemas Urbanos de Drenaje Sustentable: Una estrategia adaptativa para incrementar la resiliencia de las zonas urbanas

Gabriela Estrada Díaz

RESUMEN

La infraestructura de drenaje en las ciudades contemporáneas persigue un objetivo de evacuación expedita de aguas pluviales y servidas. Aunque en términos sanitarios este objetivo es justificable, la insuficiencia de la infraestructura para responder a lluvias extremas evidencia la necesidad de repensar el funcionamiento de las redes de infraestructura. Los Sistemas Urbanos de Drenaje Sustentable (SUDS) proponen una forma de gestión del drenaje distinta a la lineal de evacuación seguida hasta ahora. Un SUDS busca retener, ralentizar, conducir, y/o infiltrar el agua pluvial y la escorrentía, de modo que la descarga hacia el drenaje urbano sea menor y por tanto, se reduzca el riesgo de sobrecarga de la infraestructura y de los suelos que pueden provocar inundaciones en los entornos urbanos. Este texto describe las técnicas utilizadas en los SUDS, resaltando los beneficios que permiten obtener y su potencial como estrategia de incremento de la resiliencia de las ciudades a través de un mejor manejo de la infraestructura urbana.

ABSTRACT

Drainage infrastructure in contemporary cities aims the fast evacuation of rainwater and runoff. However, the failure of the infrastructure to conduct water discharges on extreme rainfall events highlights the need to rethink the logic of our current infrastructure networks. Sustainable Urban Drainage Systems (SUDS) propose an alternative

management of natural and built drainage, different from the linear one implemented until now. A SUDS seeks to retain, slow down, conduct, and/or infiltrate rainwater and runoff, so that the discharges to the urban sewage are less voluminous and, therefore, reduce the risk of overloading the infrastructure and the soils that may entail floods in urban environments. This text describes the techniques used in the SUDS, highlighting the benefits that can be obtained and their potential as a strategy to increase the resilience of cities through a better management of urban infrastructure.

PALABRAS CLAVES

Drenaje sustentable, gestión del drenaje, adaptación, inundación urbana Sustainable drainage, drainage management, adaptation, urban flood

Las ciudades están expuestas al peligro de inundación tanto como las zonas rurales. Las inundaciones urbanas resultan por lo general de una combinación de factores naturales y humanos, pues si bien es cierto que la exposición natural de los sitios a la amenaza hidrológica es un elemento crucial, el manejo del agua en la ciudad resulta también fundamental para generar condiciones de riesgo. El origen del riesgo de inundación urbana puede ser similar al de otras áreas: desbordamiento de ríos, inundaciones costeras, lluvias

torrenciales, ascenso del manto freático o incluso inundaciones rápidas (flash floods) con deslizamientos de ladera. Pero la actividad humana contribuye a incrementar el riesgo ligado a esos fenómenos naturales, por ejemplo, al saturar la capacidad de evacuación de los sistemas de drenaje (naturales y construidos); al impedir la absorción de agua por la impermeabilización de extensiones cada vez mayores de suelo; al promover el desarrollo de zonas costeras o cruciales para el funcionamiento hidrológico natural; destruir los ecosistemas costeros; urbanizar las zonas bajas o inundables; introducir infraestructura de evacuación de aguas servidas insuficiente, deficiente, o con mantenimiento escaso; o bien, al cambiar el uso del suelo y eliminar zonas de retención y absorción de agua sustituyéndolas por superficies erosionables o definitivamente impermeables (Jha, Bloch, & Lamond, 2012).

En el discurso contemporáneo de la planeación urbana orientada al incremento de la resiliencia urbana, es común distinguir entre las medidas estructurales y las no estructurales para el manejo de las inundaciones. Las primeras refieren a la edificación de obras civiles para control de flujos de agua y protección de las zonas urbanas, tales como diques, presas, muros de contención, lagunas de retención,

etc. Las medidas no estructurales por su parte, son aquellas más cercanas a la práctica de la planeación urbana y que privilegian la utilización de instrumentos regulatorios, económicos o conductuales para promover una ocupación y manejo del territorio más acordes a la existencia de la amenaza de inundación. En lo que sigue, se verá en particular el caso de los Sistemas Urbanos de Drenaje Sustentable, que pueden tener características de ambas, pues aunque incluyen la realización de obra civil, suelen conllevar una buena dosis de regulación (zonificación, protección de áreas verdes, sujeción a normas constructivas) y en muchos casos, tienen un alto potencial demostrativo para inducir cambios de actitud respecto al agua y su manejo en la ciudad.

Principios de funcionamiento: Balance hidrológico en medio urbano

En entornos urbanos, el agua de lluvia sigue derroteros distintos a los del medio natural, donde una buena parte de la precipitación se infiltra directamente al suelo. En cambio, en presencia de numerosas edificaciones, vialidades y aceras con superficies impermeables y una mayor compactación de suelos, el volumen de agua de escorrentía se incrementa y puede dar origen a inundaciones en las áreas bajas del terreno. Una solución tradicional para paliar este riesgo, ha sido la canalización de las aguas pluviales para descargarlas –conjuntamente o por separado de las aguas servidas, en puntos de recepción fuera de la ciudad. La Figura 1 ilustra los aportes y salidas de agua en las ciudades, que son más diversos que los existentes en el medio natural. Por ejemplo, la precipitación es un elemento común a cualquier punto del territorio, pero en las ciudades se añade el suministro de agua proveniente

de plantas de potabilización y otros sistemas de abastecimiento. En muchos casos existen también corrientes subterráneas o incluso superficiales que son explotadas para suministrar agua a la población.

Como en el medio natural, la evapotranspiración es una forma de transferencia de vapor de agua de la superficie terrestre a la atmósfera. En el proceso se conjugan la evaporación de agua desde la superficie del terreno y cuerpos de agua bajo la acción de la energía solar, y el aporte de las plantas a través de la transpiración (Poletto & Tassi, 2012). Otro par de salidas de agua en el sistema urbano incluyen la infiltración directa al suelo en aquellas superficies que lo permiten (por ejemplo, áreas verdes y jardinadas) y la extracción de aguas servidas y pluviales a través de redes de drenaje.

Los factores que inciden en el funcionamiento de este sistema son numerosos y la combinación de ellos en un momento dado incrementará la probabilidad de ocurrencia de un encharcamiento o del desbordamiento del sistema de drenaje pluvial. En el medio urbano, la precipitación suele rebasar la cuasi nula capacidad de infiltración del suelo, y termina fluyendo como escurrimiento superficial que debe ser desalojado a través del drenaje pluvial o bien, causará acumulación de agua en las partes de menor altura.¹

Tomando esto en cuenta, resulta fácil comprender la relevancia del sistema de drenaje para el balance hidrológico urbano: dar una adecuada salida a los aportes de agua en la ciudad es fundamental para evitar el estancamiento del agua traída por la lluvia, así como el rebosamiento de las canalizaciones de evacuación de aguas pluviales y servidas.

Las oportunidades de los suds como alternativa para el manejo del drenaje urbano

Los sistemas tradicionales de drenaje se han preocupado fundamentalmente por canalizar la mayor cantidad de agua posible y llevarla con rapidez fuera de la ciudad (Poletto & Tassi, 2012) con una loable finalidad sanitaria, pero es cada vez más claro que esta forma de abordar el problema del escurrimiento es insuficiente. En efecto, las ciudades son vulnerables a los efectos de escenarios de cambio climático que incluyen precipitaciones más abundantes o fuera de temporada, o al contrario, la prolongación de temporadas de sequía y el agotamiento de las fuentes subterráneas. Es frecuente observar inundaciones en zonas de alta densidad de población, cuando tras una lluvia excepcional por su duración o intensidad, se excede la capacidad del drenaje para evacuar el agua pluvial o

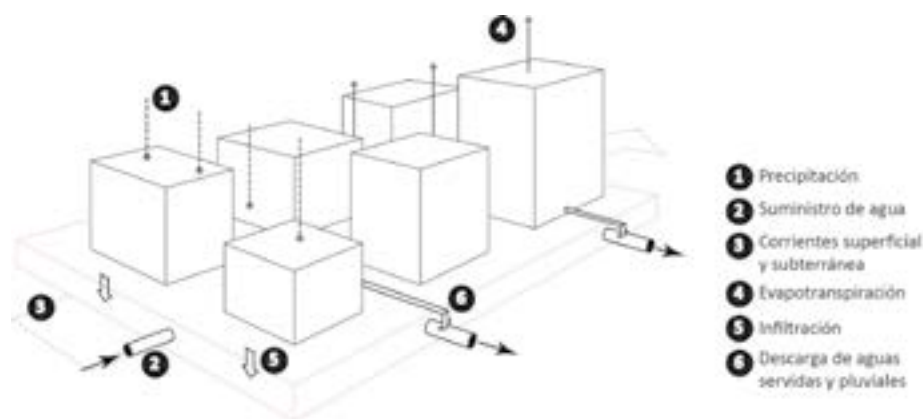


Figura 1. Balance hidrológico en el medio urbano
Fuente: Elaboración propia a partir de diagramas de (World Meteorological Association, 2008) y (Grimmond, Oke, & Steyn, 1986)

bien, cuando el volumen de escorrentía que descarga en ríos y canales es tan alto que desborda su capacidad.²

La impermeabilización del suelo, inherente a la urbanización, no hace sino incrementar el volumen de escorrentía al impedir la absorción en los lugares de caída del agua, contribuyendo a la concentración de agua y encharcamiento en las zonas bajas.³ En zonas intensamente urbanas como la Ciudad de México, los suelos cubiertos por algún tipo de infraestructura o edificación y por tanto impermeables, pueden representar más del 90% en las zonas centrales (Cram, Cotler, Morales, Sommer, & Carmona, 2008).⁴

Por otra parte, la escorrentía arrastra todos los sólidos y contaminantes depositados en el suelo urbano, deteriorando la calidad del agua de escurrimiento, incluyendo la que llega a absorberse in situ y que contamina los mantos freáticos. Otros elementos del sistema de drenaje que pueden incidir en la ocurrencia de una inundación urbana incluyen los puentes o represas que obstaculizan la escorrentía, la reducida capacidad de canales y tuberías para evacuar el agua por acumulación de sedimentos (derivada de una falta de mantenimiento o por incremento del material erosivo), sin contar con la baja capacidad de evacuación de drenajes pluviales que tuvieron errores de diseño o de prospectiva en el sistema de drenaje. (Tucci, 2007)

Intentando paliar estas deficiencias, el enfoque más reciente de los Sistemas Urbanos de Drenaje Sustentable (SUDS) pretende imitar el drenaje natural de un sitio, capturando el agua de lluvia y buscando la máxima absorción posible in situ, para conducir sólo el excedente hacia fuera del mismo, preferiblemente en un volumen y velocidad cercanos a los que se presentarían de no haberse urbanizado el área. En este sentido, ofrecen una alternativa eficaz para

Ejemplo del costo de una inundación urbana ligada a problemas de drenaje:

El 29 de Agosto del 2011 se presentó un episodio de lluvia severa en el norte de la Zona Metropolitana del Valle de México. En varias colonias, el drenaje resultó insuficiente para desalojar la precipitación, inundando casi 250 casas. Dos días más tarde un torrente de agua y lodo invadió 360 casas de las colonias Valle Dorado, Arboledas y Mayorazgos de los Gigantes. En la magnitud de estos eventos justificó la emisión de una Declaratoria de Desastre Natural para los municipios de Atizapán de Zaragoza, Cuautitlán Izcalli, Tlalnepantla de Baéz y Tultitlán, en el estado de México.

La emisión de la declaratoria implica el desbloqueo de fondos para atender el desastre y reparar los daños a través de diferentes Secretarías (federales y estatales) que ejercen el dinero para reparar los daños, sea en infraestructura o equipamiento. Sin embargo, el costo total del evento es difícilmente estimable, pues no existe registro de los gastos en que incurren los particulares para recuperar sus pérdidas. En el caso de las lluvias del 29 y 31 de Agosto del 2011, que en esos municipios afectaron a más de 7,500 personas, se dañaron 33,495 m² de vialidades. La reconstrucción de las mismas con concreto asfáltico e hidráulico de acuerdo a su composición anterior, representó un costo de \$22,024,712.80 para el gobierno estatal y de \$19,057,893.00 para el federal (Secretaría de Desarrollo Social, 2012). Esto es, tan solo la reparación de vialidades costó \$41,082,611.00 suma a la que pueden añadirse el deterioro de la infraestructura de drenaje, los vehículos dañados, la limpieza y reparación de viviendas afectadas, el mobiliario perdido, e incluso la baja productividad por el congestionamiento vial, pues los encharcamientos provocaron grandes embotellamientos en la zona.

reducir el riesgo de inundación en el medio urbano y su potencial como estrategia de adaptación al cambio climático resulta interesante pues permiten manejar el escurrimiento en casi la totalidad de los eventos de lluvia, salvo aquellos de intensidad excepcional.

Los SUDS consisten de una combinación de técnicas -descritas más adelante- que permiten manejar el agua que no llega a ser infiltrada o evaporada tras una precipitación intensa. A partir de su función en el ciclo hidrológico, las técnicas de los SUDS pueden agruparse en: 1) aquellas que buscan ralentizar o retener el exceso de agua de escorrentía en el punto de precipitación; 2) las que

buscan mitigar el riesgo de inundación en la zona; 3) las que permiten controlar la capacidad de carga de las líneas de evacuación (Zhou, 2014). Una segunda distinción puede hacerse entre las técnicas de infraestructura "gris", que implican la construcción de obra civil, y las de infraestructura "verde", que reposan en la utilización de sistemas naturales -o de sistemas que imitan los naturales, para manejar la precipitación y la escorrentía. Este segundo tipo privilegia la utilización del suelo y la vegetación para infiltrar, evapotranspirar y/o reciclar el agua de escorrentía. La selección de las técnicas a utilizar partirá por supuesto de las condiciones del sitio, pero también de los objetivos marcados por el proyecto

privilegiando la prevención –es decir, las técnicas que intervienen lo más tempranamente posible en el recorrido que hace el agua desde que cae la lluvia.⁵

Las técnicas de los SUDS se utilizan normalmente en combinación, pues resultaría poco eficaz y costoso recurrir a un solo dispositivo o técnica sin dotarle de otras estrategias de soporte. Entre las técnicas de los SUDS se cuentan:⁶

Cunetas y barrancos de infiltración (con vegetación)

Son depresiones lineares, vegetadas, de suelo permeable en los bordes de calzadas, donde se almacena temporalmente el agua de lluvia y que sirven para reducir el pico de flujo de escorrentía y reducir los contaminantes. Requieren mantenimiento frecuente para evitar que el exceso de vegetación o material arrastrado bloquee el flujo.

Franjas filtrantes de césped

En el medio urbano, se pueden disponer franjas de césped para desacelerar la escorrentía e infiltrarla parcialmente, a lo largo por ejemplo, de zonas de estacionamiento o grandes áreas impermeables. Son recomendadas para zonas de baja pendiente.

Humedales

Puede tratarse de humedales naturales o artificiales. Son áreas que tendrán permanentemente un cierto tirante de agua, el cual se incrementa cuando reciben la escorrentía. Hay que tener cuidado que el aporte al humedal venga libre de contaminantes, por lo que algún dispositivo filtrante debe preceder la descarga al humedal. Es una de las técnicas que más contribuyen a la conservación y reproducción de la flora y fauna locales, además de tener un

gran potencial para moderar los picos de escorrentía.

Jardines

Los jardines, parques de bolsillo y áreas arboladas en general, no sólo son elementos fundamentales del paisaje urbano, pero también ayudan a reducir el riesgo de inundación, recargar los acuíferos, mejorar la calidad del aire, capturar contaminantes y gases de efecto invernadero, mantener la biodiversidad y regular la temperatura.

Micro-reservorios

Dispositivos de almacenamiento que reducen la concentración de escorrentía y mitigan los picos de flujo. Se consideran infraestructura gris pues se construyen de concreto o mampostería, con tubería de PVC para la descarga.

Pavimentos permeables

Técnica de infiltración donde se utiliza un pavimento (o incluso césped) que permita el paso del agua a través de él para infiltrarla en el sitio mismo, almacenarla temporalmente en una capa de grava bajo la superficie o bien, conducirla a un reservorio para su infiltración. Las capas de la base del pavimento deben tener permeabilidades crecientes para permitir la infiltración posterior. Los pavimentos permeables son adecuados para zonas de tráfico ligero, estacionamientos, parques y áreas deportivas.

Pavimentos semi-permeables

Al utilizarlos, se disminuye el volumen de escorrentía y se retrasa el tiempo de descarga. En este caso, no hay necesidad de instalaciones bajo la superficie pues no se busca colectar el agua, sino alentar su velocidad de escurrimiento.

Pozos de infiltración

A través de estos pozos se permite la infiltración del agua recolectada al subsuelo. Llevan varias capas de material filtrante (gravas) de diferentes diámetros, con paredes diseñadas de forma que se permita un contacto gradual con el suelo, preferentemente a través de un geotextil que evite el taponamiento de las perforaciones. Es fundamental considerar la permeabilidad natural del suelo al evaluar la viabilidad de utilización del pozo de infiltración.

Reservorios de retención

Aunque pueden existir en los sistemas tradicionales para disminuir la descarga final, en los SUDS se busca integrarlos al diseño paisajístico, instalándolos en parques y patios que tienen otros usos fuera del momento de la precipitación pluvial. Estas depresiones vegetadas frenan la escorrentía durante unas horas y permiten la sedimentación de los sólidos arrastrados por ella. Es conveniente que cuenten con un desagüe en su parte inferior.

Reservorios en azoteas o reservorio de aguas de azotea

Menos frecuentes que los reservorios a nivel de suelo, los de azotea permiten almacenar temporalmente el agua de lluvia y descargarla gradual y controladamente a la red pluvial. Por el peso que pueden alcanzar, no suelen ser muy grandes y se recomiendan sobre todo para techos planos. Como ventaja se encuentra el que hasta ese punto el agua está prácticamente libre de contaminantes y se puede reutilizar con facilidad.

Reservorios subterráneos

Son tanques subterráneos, impermeables, donde se almacena el agua con miras a una utilización posterior. Así, tienen el doble propósito

Beneficios relacionados con el uso de SUDS

Reducción de daños por inundación	-Los SUDS permiten manejar adecuadamente el escurrimiento en casi todos los eventos de lluvia, reduciendo las inundaciones y encharcamientos ligados a un funcionamiento inadecuado del drenaje pluvial tradicional
Mejoría en la calidad del agua	-El escurrimiento arrastra los contaminantes del suelo y los vierte en el drenaje pluvial. En las ciudades eso implica por ejemplo, arrastrar todos los fluidos contaminantes que los autos dejan en el pavimento, además de basura y desechos. Por ello la limpieza del agua en los SUDS es una función fundamental: -El agua filtrada y/o tratada in situ aporta menos contaminantes al manto freático y cuerpos de agua, con lo que se reducen los costos de depuración y potabilización -Se reducen los daños a la salud humana por consumo o contacto con el agua contaminada vertida en cuerpos de agua
Protección de cursos de agua río abajo	-La escorrentía en medio urbano suele incrementarse en volumen y velocidad. Al retener y alentar el flujo, se reducen los picos tras una lluvia fuerte generando menor degradación de los bordes de canales y ríos, así como la sedimentación derivada de la erosión de esos bordes
Protección de hábitats	-Los entornos naturales resultan menos afectados por agua contaminada, lo que ayuda a preservar flora y fauna
Reducción de costos de extracción y aprovisionamiento de agua	-Al permitir la recarga de los acuíferos, se reduce el volumen de agua que debe ser transportado desde fuera para satisfacer el consumo local y por tanto, la energía necesaria para el aprovisionamiento -La captación de agua de lluvia permite reducir los aportes externos al utilizar agua reciclada para usos no potables en riego, en sanitarios o en algunos procesos industriales
Menor consumo de energía para mover el agua	-Al reducirse el escurrimiento, menos agua pluvial va al drenaje combinado (sanitario y pluvial), reduciendo el gasto del sistema y por tanto, la cantidad de energía necesaria para mover las aguas servidas en el proceso de tratamiento
Menores costos de instalación y operación	-En el caso de infraestructura "verde", la construcción, operación y mantenimiento pueden ser menores que la opción "gris". Además, la infraestructura "verde", con adecuado mantenimiento, funciona cada vez mejor, en lugar de deteriorarse como la "gris"
Mayor eficiencia energética en edificios	-Técnicas como los techos verdes ayudan a incrementar la eficiencia energética de los edificios, disminuyendo los costos de calefacción y refrigeración gracias al aislamiento térmico que proporcionan
Disminución del efecto de isla de calor	-La existencia de amplias superficies asfaltadas y la concentración de actividades contribuyen a que en las ciudades la temperatura sea mayor que en su entorno inmediato. Entre otras consecuencias, esto puede afectar la salud de las poblaciones vulnerables. Los SUDS suelen implicar un mayor uso de superficies vegetadas, con lo que reducen el calor re-emitido a la atmósfera
Incremento del valor de la propiedad	-En lugar de reducir su valor por estar en zona inundable, los inmuebles que incorporan técnicas de SUDS, incrementan su valor por las cualidades estéticas que éstos aportan a los proyectos
Amplias oportunidades recreativas y actividades recreacionales y educativas	-Por el tipo de técnicas que utilizan, los SUDS pueden contribuir a mejorar la calidad paisajística de los proyectos, aprovechando las cualidades estéticas de sus elementos y el potencial demostrativo que deriva de hacer visible el manejo integral del agua en un sitio -Una buena parte de las técnicas reposan en el uso de vegetación y espacios al aire libre, por lo que sirven tanto a fines recreativos como al manejo del agua

de reducir el volumen de descarga, además de almacenar el agua. Es recomendable que el agua se filtre y que se cuente con un mecanismo para remoción de sedimentos.

Reutilización del agua de lluvia

En buena lógica, toda el agua de lluvia retenida y almacenada reduce el flujo que produce inundaciones. En los sistemas tradicionales la precipitación se va al drenaje pluvial o combinado, incrementando la carga de la línea y el volumen de agua a tratar. Sin embargo, el agua de lluvia puede reutilizarse tras una mínima remoción de sólidos en usos que no requieren de agua potable, como el riego, lavado de áreas abiertas o sanitarios.

Techos verdes

Ayudan a reducir los picos de flujo y el volumen total de descarga. Se componen de varias capas de material, desde un aislante impermeable en la base hasta el sustrato donde se siembra la vegetación. Además de retener el agua de lluvia, los techos verdes han mostrado ser muy útiles para regular la temperatura de las habitaciones interiores e incluso de las áreas circundantes, sin mencionar que pueden contribuir a reducir el efecto de isla de calor.

Zanjas de infiltración

Son zanjas lineales que reciben el escurrimiento por gravedad, cubiertas de grava u otro material filtrante que permiten un cierto nivel de almacenamiento e infiltración. El objetivo de la grava es filtrar los sólidos que podrían contaminar el acuífero. Cuando hay mayor volumen de escorrentía o el suelo no puede absorber todo el volumen, se pueden incluir tubos perforados que llevarán

el excedente a un reservorio para su reutilización o descarga controlada.

A través de la utilización de estas técnicas, se pueden obtener diversos beneficios. Se ha mencionado ya su utilidad para reducir el riesgo de inundación urbana, pero los SUDS también tienen otros fines como mejorar la calidad del agua, reducir el efecto de isla de calor, moderar la oscilación térmica, capturar carbono (cuando incluyen el uso de áreas verdes), recargar los acuíferos, reutilizar el agua de lluvia, preservar la biodiversidad y ser parte importante de proyectos con fines de esparcimiento y educación ambiental. El cuadro 1 resume algunos de los beneficios de los SUDS en los diferentes ámbitos en que pueden incidir.

Contra estos beneficios, suele argumentarse que los SUDS implican mayores costos respecto a las soluciones convencionales de drenaje. Sin embargo, este argumento no necesariamente se sostiene cuando los SUDS se incorporan desde la etapa de diseño en un proyecto arquitectónico o urbano.⁷ En general, las técnicas de diseño sustentable no son necesariamente más costosas que las tradicionales al momento de la construcción del proyecto y sus ventajas económicas se aprecian a lo largo de la vida de los proyectos, pues reducen los costos de operación. Es cierto, no obstante, que modificar o intervenir un proyecto existente sí representa un costo adicional que debe tomarse en cuenta en la evaluación de su rentabilidad.

Como puede inferirse de la descripción de las técnicas, su eficacia depende no solo del diseño del dispositivo en sí, sino también de diversas condiciones del sitio que deben considerarse para dimensionar y diseñar correctamente cada uno de los elementos de la cadena de técnicas que conforman un SUDS. En primera línea se encuentra por

supuesto una adecuada estimación de la precipitación pluvial en el sitio, con particular atención en la intensidad y frecuencia. Por su parte, la vegetación contribuye a almacenar una parte de la precipitación en las hojas, y aunque esto varía de una especie a otra, las zonas vegetadas siempre tienen menos escurrimiento que el suelo desnudo o el pavimento. La lluvia que no sea retenida por la vegetación, llegará al suelo cuya capacidad de infiltración depende de las condiciones de humedad del mismo (un suelo seco por ejemplo, antes de la temporada de lluvia, absorberá más agua que uno saturado por lluvias continuas), su porosidad, su composición e incluso por el tamaño de las gotas de lluvia pues si éstas son muy grandes, golpean el suelo con más intensidad y lo desagregan en partículas finas que formarán una capa delgada de suelo compactado, "sellando" la superficie e impidiendo una mayor infiltración (Critchley & Siegert, 1991). La pendiente del terreno influye también en la velocidad y volumen del escurrimiento: a mayor pendiente, el agua escurre con mayor velocidad y en cambio, en pendientes suaves no solo disminuye la velocidad, sino que hay mayor oportunidad para que se infiltre en el sitio, reduciendo el volumen que finalmente escurre al destino final.

Así, el diseño de un SUDS requiere de un modelado preciso y específico al sitio de todos los elementos que inciden en el comportamiento hidrológico del lugar, a fin de obtener los mayores beneficios de la implantación de las técnicas, cuya selección no puede realizarse sino caso por caso dadas las particularidades de cada sitio y proyecto. Es también conveniente resaltar que los SUDS no sustituyen por entero los aditamentos de una red tradicional de drenaje pluvial, más bien deben integrarse a ella para obtener el mejor funcionamiento, particularmente en un escenario

de cambio climático donde los patrones hidrológicos pueden variar y las condiciones iniciales de diseño modificarse (Zhou, 2014).

Técnicas de los SUDS. Efectividad y Costos

En términos generales, los beneficios de los SUDS como estrategia de adaptación al riesgo de inundación, son una combinación de los costos evitados por daño a infraestructura y edificaciones, y de la reducción de costos de construcción, operación y mantenimiento de infraestructura de

drenaje pluvial. El cuadro 2 recopila algunos resultados obtenidos con la implantación de técnicas de SUDS en distintos países. La efectividad refiere en general a la reducción del escurrimiento y por inferencia, del riesgo de inundación.

Efectividad, costos y beneficios obtenidos con la aplicación de técnicas de SUDS

Técnica	Efectividad	Costos/Beneficios
Cunetas y barrancos de infiltración (con vegetación)	10 a 20% de reducción de escurrimiento (1)	15 a 30€ por metro lineal Añadir mantenimiento del área verde y curado cada 10 años (1)
Jardines	Los jardines domésticos absorben 10% de la precipitación (2)	
Micro-reservorios		De 400 a 500 USD, más costos de mantenimiento (3)
Pavimentos permeables	Flujo de salida promedio de casi 50% (3) Retardo de 45 minutos para eventos promedio, de 145 minutos para lluvia ligera (3) 45 a 75% reducción del escurrimiento	
Pavimentos semi-permeables		El costo de mantenimiento es de 1 a 2% del costo directo (3)
Pozos de infiltración		Un pozo para un área de 500m ² costó 1,312.50 USD en 2004 (3) 3 €/m ² de superficie atendida y 1.5€/m ² para el mantenimiento (1), sin considerar el costo del terreno
Reservorios de retención		Costo anual de mantenimiento de 130USD (3)
Reservorios en azoteas o reservorio de aguas de azotea	Reducción de 40% del volumen de escurrimiento (1)	
Techos verdes	En lluvia ligera, absorción hasta del 100% (2) Reducción de 54% del escurrimiento en un edificio (2) Reducción de 45 a 60% del escurrimiento (1) Un techo de 16,258 m ² en Chicago captura 7.5 millones de litros al año (3)	Ahorro en consumo de energía de \$35,000 USD al año (4)
Zanjas de infiltración	Con vegetación, 40 a 50% de reducción del escurrimiento (1)	Depende del tipo de tierra y materiales. Puede ser alrededor de 0.79 USD por m ² (3)

Fuentes

(1) (Chocat, 2008) (2) (Charlesworth, 2010) (3) (Poletto & Tassi, 2012) (4) (American Society of Landscape Architects, American Rivers, ECONorthwest y Water Environment Federation, 2012)

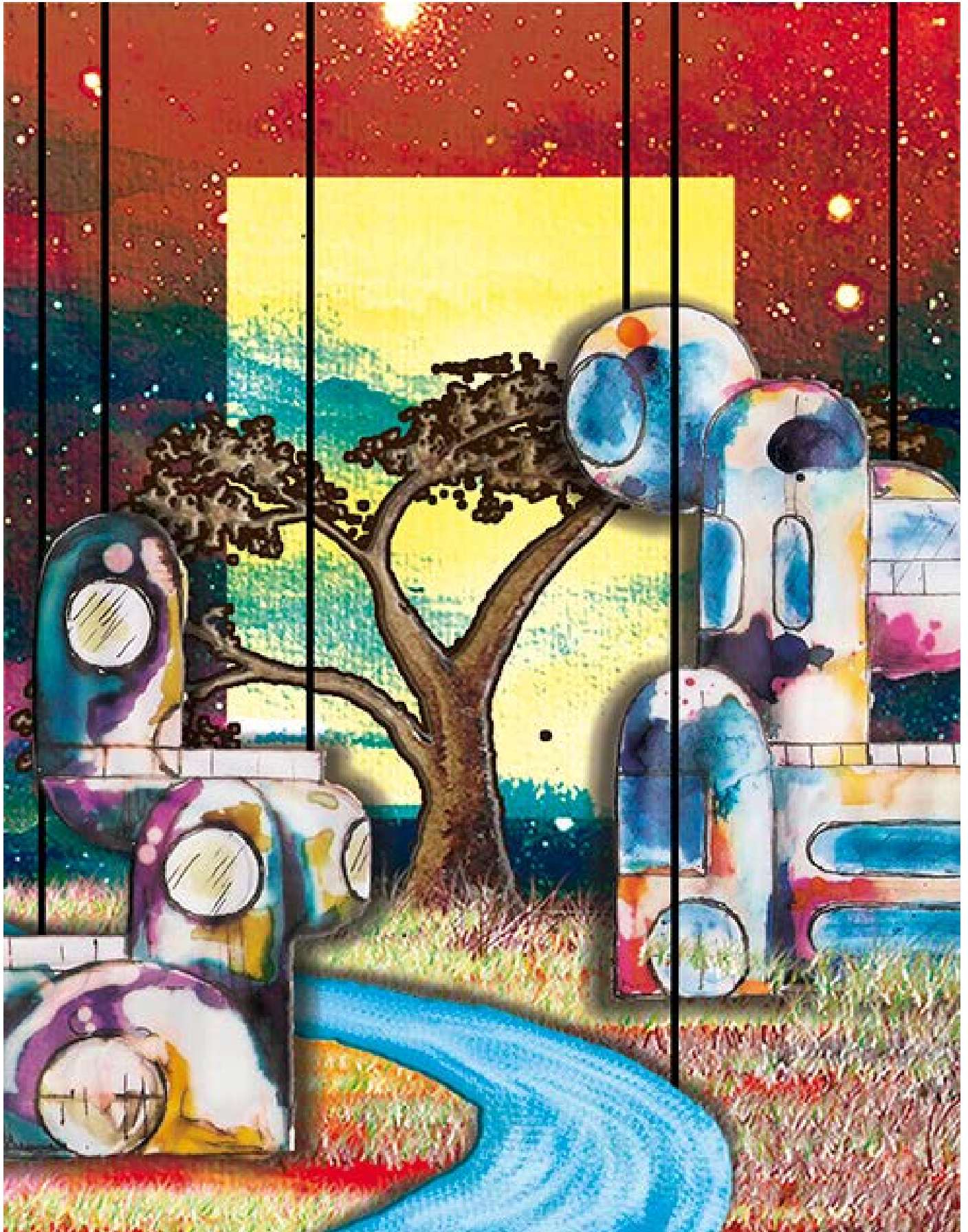


Ilustración por: Emmanuel Hernandez
Facultad de Artes Plásticas Uv

Un ejemplo de aplicación:
Augustenborg, Malmö, Suecia⁸

El barrio de Augustenborg, en el centro de Malmö, Suecia, es un barrio de vivienda social construido a principios de los años 1950 en una superficie de 32 hectáreas. Aunque la calidad de los edificios y espacios públicos se consideró inicialmente buena, con el paso del tiempo el lugar se degradó, presentando problemas sociales como desempleo y abandono por parte de los residentes que emigraban buscando una mejor opción de vivienda. Adicionalmente, los problemas ambientales no eran menores, pues a la ineficiencia energética de los edificios se añadían las recurrentes inundaciones estacionales provocadas por un deficiente sistema de drenaje y el incremento de la superficie de suelo impermeable. Para la década de los años 1980 una parte de los 1,800 departamentos estaban vacíos y en la población restante se constataban peores indicadores de salud y empleo que otras zonas de la ciudad.

En 1998 se inició un programa de renovación urbana llamado "Ecociudad". La estrategia de intervención aspiraba a ser integral, combinando la renovación del parque habitacional público con la introducción de centros de recolección, reutilización, reciclaje y composteo de desechos, la instalación de colectores solares, y un conjunto de técnicas de SUDS para atender el problema de las inundaciones. Entre las técnicas utilizadas se cuentan:

- 6 km de canales para conducción del agua de lluvia
- 10 reservorios de retención
- Humedales

30 azoteas verdes, tanto sobre los edificios de apartamentos, como en el techo de garajes y otros locales de

servicio, que en conjunto cubren 2,100 m². La azotea verde que hoy ocupa el Jardín Botánico, de 9,500 m², sobre la azotea de un antiguo inmueble industrial. Esta azotea verde es el mayor techo verde en Escandinavia

Los elementos son intencionalmente visibles en todo momento y se integran al paisaje, formando parte de áreas de estacionamiento y espacios abiertos, proveyendo así áreas verdes y de esparcimiento entre los edificios, además de tener un alto potencial demostrativo.

El sistema encadena así varios elementos, permitiendo retener y absorber parte de la precipitación pluvial en el sitio, reduciendo el escurrimiento antes de llevar el excedente de agua a la conexión con el sistema de drenaje de la ciudad. Las azoteas verdes absorben más del 50% de la lluvia que reciben y el agua que aportan al sistema circula a través de los canales y reservorios a cielo abierto, donde la evapotranspiración entre dos lluvias contribuye también a reducir el volumen total de agua. En conjunto, se ha estimado que este SUDS retiene el 70% de la precipitación recibida, reduciendo el escurrimiento final un 20% respecto a un sistema tradicional.

El sistema funciona tan bien, que aunque se diseñó para eventos de frecuencia de 15 años, en 2007 hubo una lluvia de periodo de retorno de 50 años y mientras el resto de la ciudad se inundó, Augustenborg salió mucho mejor librado.

La intervención en Augustenborg no se reduce a la introducción de SUDS. Para atender las diferentes facetas que llevaron a la degradación generalizada del barrio, se trabajó con la población para hacerla participe en

toda la operación, incluso del diseño del sistema de manejo de agua de lluvia. Se introdujeron huertos urbanos, centros de reciclaje y composteo y se renovaron los edificios para adecuarlos a las normas ambientales actuales.

La operación en total costó casi 24 millones de euros, aunque la mitad de esa suma se destinó a la renovación de los inmuebles.

En la actualidad, en Augustenborg no hay apartamentos desocupados, el desempleo bajó de 30% a 6% (que es la media nacional) y la participación en las elecciones subió del 54% al 79%. El enfoque participativo e integral del proyecto han sido sin duda la clave del éxito.

Comentarios finales

El caso de Augustenborg es un ejemplo de estrategia de adaptación al cambio climático mediante el diseño y desarrollo de un SUDS. Muestra claramente los beneficios ambientales y sociales que los SUDS pueden generar para reducir las inundaciones y mejorar el entorno barrial. Es importante destacar que los SUDS se conciben e implementan a diferentes escalas, pues si los beneficios de un manejo del agua y la escorrentía se evidencian en el caso reseñado a escala del barrio, las técnicas utilizadas parten desde la arquitectura para impactar el ámbito urbano en su conjunto. La retención del agua pluvial y la reducción de la escorrentía contribuyen a que el barrio reduzca significativamente la descarga al sistema municipal de drenaje pluvial, reduciendo el riesgo de saturación y, por tanto, de desborde e inundación del barrio mismo.

Los SUDS son una muestra del cambio de paradigma en la gestión de redes urbanas necesario para la construcción de la resiliencia: la infraestructura de



Ilustración por: Emmanuel Hernandez
Facultad de Artes Plásticas Uv

drenaje no debe ser lineal y enfocada a la evacuación de aguas servidas y pluviales; al contrario, el drenaje natural y construido se deben complementar y servirse mutuamente para reducir el riesgo de inundación en el medio urbano. Los SUDS son una alternativa ineludible de adaptación al cambio climático que contribuye, además, a la reducción de los costos en los que incurren los gobiernos una y otra vez para reparar los daños a las infraestructuras de drenaje y vialidad por fenómenos tan frecuentes en nuestras latitudes como lo son las intensas lluvias estacionales.

En realidad, la mayor parte de las técnicas aquí presentadas no requieren de cambios en la configuración de la infraestructura de drenaje existente en nuestras ciudades. Una de sus virtudes radica en que pueden implementarse en edificios y espacios públicos

desde ya, para así contribuir a que las sociedades urbanas reaprendan a manejar responsablemente el agua y su territorio.

Referencias bibliográficas

Charlesworth, S. (2010). A review of the adaptation and mitigation of global climate change using sustainable drainage in cities. *Journal of Water and Climate Change*, 1(3), 165-180.

Castro Fresno, D. J. (2005). Sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS). *Interciencia*, 30(5).

Chocat, B. (2008). Etat de l'art sur la gestion urbaine des eaux pluviales et leur valorisation. Retrieved agosto 26, 2015, from ONEMA, Office National de l'eau et des milieux aquatiques: <http://www.onema.fr/Publications-2008>

Cram, S., Cotler, H., Morales, L. M., Sommer, I., & Carmona, E. (2008).

Identificación de los servicios ambientales potenciales de los suelos en el paisaje urbano del Distrito Federal. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía*(66), 81-104.

Critchley, W., & Siegert, K. (1991). *Water harvesting*. Roma.

American Society of Landscape Architects, American Rivers, ECONorthwest y Water Environment Federation. (2012). *Banking on Green: A Look at How Green Infrastructure Can Save Municipalities Money and Provide Economic Benefits Community-wide*. Retrieved septiembre 14, 2015, from <http://www.asla.org/contentdetail.aspx?id=31301>

Department for Communities and Local Government. (2006). *Code for Sustainable Homes*. Department for Communities and Local Government, Londres.

D'Ercole, R., & Metzger, P. (2004).

La vulnerabilidad del Distrito Metropolitano de Quito. Quito, Ecuador: Municipio del DMQ, Institut de Recherche pour le Développement.

Grimmond, S., Oke, T., & Steyn, D. (1986, Septiembre). *Urban Water Balance*, 1. A Model for Daily Totals. *Water Resources Research*, 1397-1403.

Jha, A. K., Bloch, R., & Lamond, J. (2012). *Cities and Flooding. A Guide to Integrated Urban Flood Risk Management for the 21st Century*. GFDRR, The World Bank.

Poleto, C., & Tassi, R. (2012). Sustainable Urban Drainage Systems. In M. S. Javaid, *Drainage Systems* (pp. 55-72). InTech.

Secretaría de Desarrollo Social. (2012). Base de datos de atención a desastres, 2007-2012. Base de datos.

Sistema Intermunicipal de los Servicios de Agua Potable y Alcantarillado. (2014). Criterios y lineamientos técnicos para factibilidades en la A.M.G. Guadalajara. Retrieved agosto 14, 2015, from siapa.gob.mx: <http://www.siapa.gob.mx/transparencia/criterios-y-lineamientos-tecnicos-para-factibilidades-en-la-zmg>

The State of Victoria Department of Planning and Community Development. (2012). Applying the flood provisions in planning schemes. A guide for councils. Retrieved october 18, 2014, from Department of Transport, Planning and Local Infrastructure. Victoria State Government: <http://www.dtpli.vic.gov.au/planning>

Tucci, C. E. (2007). Urban Flood Management. WMO, Cap-Net, APFM.

UN-HABITAT. (2010). Planning for Disaster Risk Reduction in Ulaanbaatar. Citywide Pro-poor FUSIP of Ulaanbaatar City.

United States Environmental Protection Agency. (2007). Reducing Stormwater Costs through Low Impact Development Strategies and Practices. EPA.

World Meteorological Association. (2008). Urban Flood Risk Management. A Tool for Integrated Flood Management. World Meteorological Association, Associated Programme on Flood Management. WMO.

Zhou, Q. (2014). A Review of sustainable Urban Drainage Systems Considering the Climate Change and Urbanization Impacts. *Water*, 6, 976-992.

Zhou, Q. (2014). A Review of sustainable Urban Drainage Systems Considering the Climate Change and Urbanization Impacts. *Water*, 6, 976-992.

NOTAS

¹.Esta capacidad se puede conocer al calcular el Coeficiente de Escurrimiento, que indica la relación entre la lámina de agua precipitada sobre una superficie y la lámina de agua que escurre. Es en realidad, inversamente proporcional a la capacidad de infiltración del suelo. Toda superficie impermeable, como vialidades y techumbres, tienen el más alto coeficiente de escurrimiento.

².Los ejemplos de inundaciones por insuficiencia del drenaje pluvial o alteración del drenaje natural son numerosos. El lector puede encontrar fácilmente algunos ejemplos sobre Ulaanbaatar, Mongolia (UN-HABITAT, 2010), Brisbane, Australia (The State of Victoria Department of Planning and Community Development, 2012), Quito, Ecuador (D'Ercole & Metzger, 2004), o Buenos Aires, Argentina (Tucci, 2007).

³.Algunas investigaciones han comprobado esta afirmación, al calcular por ejemplo que la ocurrencia de una inundación de frecuencia centenal en una cuenca de Maryland (en los suburbios de Washington DC) podría reducirse a una frecuencia de cada cinco años si la superficie impermeable alcanzara el 25% del territorio. En otro estudio en un área cercana encontró que la descarga diaria al río Anacostia rebasó los 28.3m³ una o dos veces por año en la década de los 40s y 50s, pero tras la urbanización del área, la descarga llegó a rebasar ese volumen hasta 6 veces por año en los 90s. (American Society of Landscape Architects, American Rivers, ECONorthwest y Water Environment Federation, 2012)

⁴.El total de suelos "sellados" en la Ciudad de México, de acuerdo a la fuente, corresponde al 47% del territorio, pero hay que señalar que el 51.6% del suelo en la demarcación

es de conservación, de suerte que el suelo urbanizado en esta ciudad, dada la muy baja dotación de áreas verdes, es impermeable casi en su totalidad.

⁵.Castro et al (2005) sugieren concebir un SUDS como un tren o cadena, donde los encadenamientos entre distintas técnicas permiten llegar a un diseño óptimo del sistema.

⁶.A partir de (Charlesworth, 2010), (Poletto & Tassi, 2012) y (Castro Fresno, 2005).

⁷. Algunas comparaciones entre infraestructura verde y gris para manejo de escurrimiento referidas en (United States Environmental Protection Agency, 2007) y en (American Society of Landscape Architects, American Rivers, ECONorthwest y Water Environment Federation, 2012), muestran que la discusión es falsa: en casi todos los casos reseñados, los proyectos con infraestructura verde resultaron menos costosos que si se hubieran aplicado técnicas convencionales de drenaje.

⁸.El caso es reseñado en numerosos sitios y ha recibido premios por organizaciones ambientalistas. Algunas reseñas interesantes se pueden encontrar en: Forestry Commission [[http://www.forestry.gov.uk/pdf/urgp_case_study_015_Malmo.pdf/\\$FILE/urgp_case_study_015_Malmo.pdf](http://www.forestry.gov.uk/pdf/urgp_case_study_015_Malmo.pdf/$FILE/urgp_case_study_015_Malmo.pdf)], World Habitat Awards [<http://www.worldhabitatawards.org/winners-and-finalists/project-details.cfm?theprojectid=8a312d2b-15c5-f4c0-990fbf6cbc573b8f&lang=01>], y en European Climate Adaptation Platform [http://climate-adapt.eea.europa.eu/viewmeasure?ace_measure_id=3311].