

LOS SISTEMAS URBANOS DE DRENAJE SOSTENIBLE: UNA ALTERNATIVA A LA GESTIÓN DEL AGUA DE LLUVIA.

SARA PERALES MOMPARTLER⁽¹⁾, IGNACIO ANDRÉS-DOMÉNECH⁽²⁾

(1) PMEnginyeria, Avda. Aragón 18-1º-1, 46021 Valencia. sperales@pmenginyeria.com

(2) Dep. Ing. Hidráulica y Medio Ambiente. Universidad Politécnica de Valencia.
Edificio 4E. Cno. de Vera s/n, 46022 Valencia. igando@hma.upv.es

RESUMEN

El continuo y rápido crecimiento de nuestras ciudades, que conlleva una progresiva impermeabilización del suelo, está alterando gravemente el ciclo hidrológico natural del agua. Cada vez se necesitan colectores más grandes, más largos, y una necesidad de depurar un agua de lluvia que en su origen era limpia. La necesidad de afrontar la gestión de las aguas pluviales desde una perspectiva diferente a la convencional, que combine aspectos hidrológicos, medioambientales y sociales, está llevando a un aumento progresivo a nivel mundial del uso de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS), también conocidos como BMP's (Best Management Practices). La filosofía de los SUDS es reproducir, de la manera más fiel posible, el ciclo hidrológico natural previo a la urbanización o actuación humana. Su objetivo es minimizar los impactos del desarrollo urbanístico en cuanto a la cantidad y la calidad de la escorrentía (en origen, durante su transporte y en destino), así como maximizar la integración paisajística y el valor social y ambiental de la actuación. Esta comunicación resume las tipologías de SUDS más utilizadas a nivel mundial, señalando algunos proyectos españoles que cuentan con esta alternativa innovadora, eficiente y más sostenible de gestionar el agua de lluvia.

1. INTRODUCCIÓN

Mediante la Directiva 2000/60/CE por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas (Directiva Marco del Agua, DMA), la Unión Europea organiza la gestión de las aguas superficiales, continentales, de transición, aguas costeras y subterráneas, con el fin de prevenir y reducir su contaminación, fomentar su uso sostenible, proteger el medio acuático, mejorar la situación de los ecosistemas acuáticos y paliar los efectos de las inundaciones y de las sequías (1). Esta Directiva identifica como una de las presiones a que están sometidas las masas de agua los vertidos de aguas residuales o aguas contaminadas, tanto puntuales como difusas.

Con objeto de adaptarse a estas nuevas exigencias, se hace necesario un nuevo enfoque para la gestión de las escorrentías, lo cual ha llevado al interés creciente por el uso de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS). Éstos comprenden un amplio espectro de soluciones que

permiten afrontar el planeamiento, diseño y gestión de las aguas pluviales dando tanta importancia a los aspectos medioambientales y sociales como a los hidrológicos e hidráulicos. Los SUDS pueden utilizarse como alternativa a los sistemas de drenaje convencional o en combinación con ellos.

El número de publicaciones referentes a cuestiones relacionadas con estas técnicas alternativas de control de las escorrentías urbanas en tiempo de lluvia ha ido creciendo de forma notable en los últimos años conforme ha ido evolucionando el estado del conocimiento al respecto. A modo de ejemplo, si se buscan en la base de datos de la *Isi Web of Science* publicaciones con el descriptor genérico “Best Management Practice” o “Sustainable Urban Drainage System” se observa la evolución que han sufrido este tipo de referencias últimamente (figura 1).

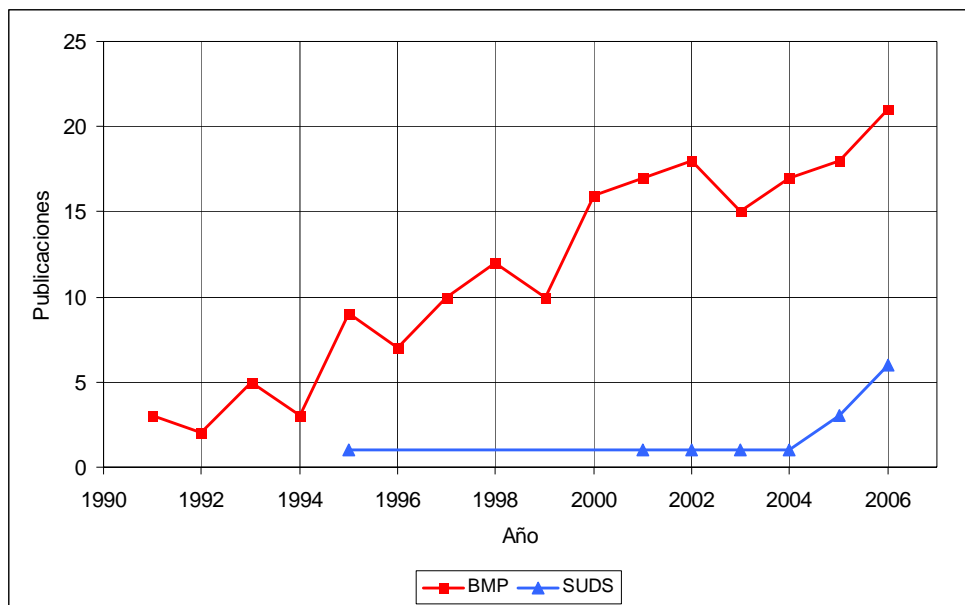


Figura 1. Publicaciones con el descriptor “Best Management Practice” y “Sustainable Urban Drainage System” en *Isi Web of Science*.

Este artículo repasa en primer lugar la problemática de los sistemas convencionales de drenaje, para presentar a continuación el enfoque alternativo para la gestión de pluviales mediante SUDS. Posteriormente, se describen las tipologías más comunes y se analizan los criterios generales de diseño. Por último, se describe el grado de implantación de estas técnicas en el mundo y en España, haciendo referencia a proyectos españoles que cuentan con esta alternativa innovadora, eficiente y más sostenible de gestionar el agua de lluvia.

2. PROBLEMÁTICA DE LOS SISTEMAS CONVENCIONALES

En el desarrollo de las infraestructuras de drenaje y saneamiento de una ciudad suelen identificarse varias fases. En primer lugar, se tendió a canalizar y controlar las aguas residuales; posteriormente, a encauzar las escorrentías producidas por las aguas de tormenta tendiendo a limitar el riesgo de sufrir inundaciones. Todo ello ha dado lugar a los sistemas convencionales de saneamiento y drenaje en las ciudades, basados en colectores cuyo objetivo primordial es evacuar lo antes posible las escorrentías generadas en tiempo de lluvia hacia el medio receptor. Resueltos a priori estos problemas, aparece recientemente otro, el de la calidad de las escorrentías urbanas en tiempo de lluvia y el impacto que sus vertidos generan en el medio receptor. En efecto, hoy en día se es plenamente consciente de que las aguas de lluvia, lejos de ser aguas limpias, son una fuente importante de contaminación. El problema se acentúa si, además, la red es unitaria.

El desarrollo urbano conlleva una serie de impactos que generan a su vez efectos negativos sobre los medios receptores. Por una parte se generan en los sistemas convencionales problemas de cantidad, cuando los índices de urbanización superan las planificaciones iniciales, y consecuentemente, las infraestructuras quedan infradimensionadas, dando lugar a inundaciones. Por otra, los problemas de calidad atañen fundamentalmente a la contaminación de los medios receptores al recibir escorrentías urbanas contaminadas por fuentes difusas, vertidos desde depuradoras desbordadas y descargas de sistemas unitarios.

El crecimiento de las zonas impermeables en las ciudades modifica los flujos naturales del ciclo hidrológico, tanto desde el punto de vista cualitativo como cuantitativo. La reducción de espacios vegetados reduce en primera instancia la interceptación natural y la evapotranspiración. El aumento de la impermeabilidad redundará en una reducción de la infiltración. Como consecuencia de todo ello, se generan volúmenes de escorrentía netamente mayores, y además, se aceleran los tiempos de respuesta (figura 2), por lo que aumenta el riesgo de inundaciones.

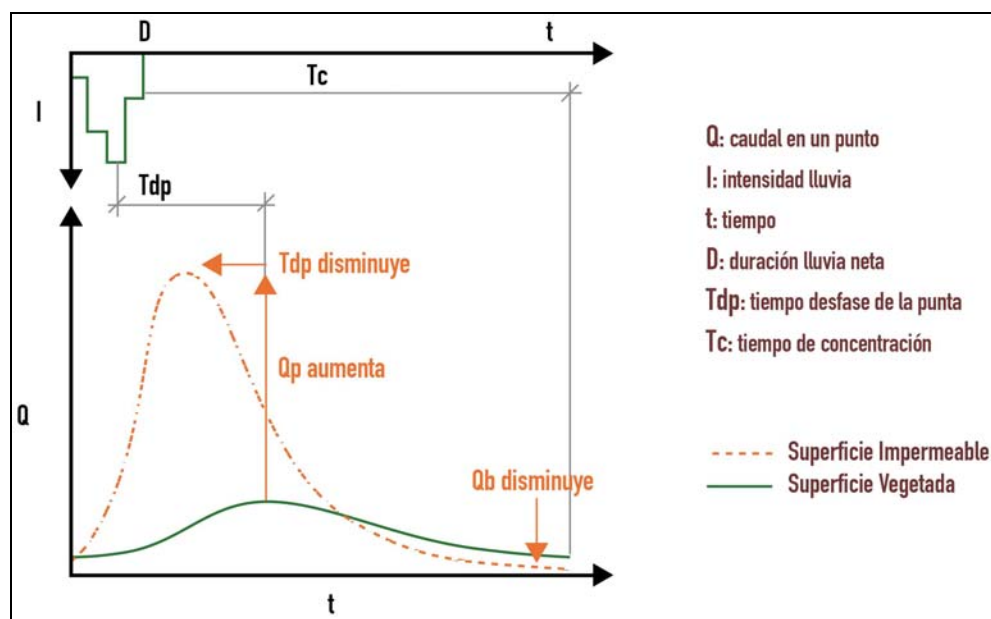


Figura 2. Cambios inducidos por el desarrollo urbano en la transformación lluvia-escorrentía.

Las actividades humanas generan, tanto en la atmósfera como en la superficie de las cuencas urbanas, una amplia gama de contaminantes: sedimentos, materia orgánica, nutrientes, hidrocarburos, elementos patógenos (bacterias y virus), metales, pesticidas,... El origen de esta contaminación corresponde a zonas muy amplias y de difícil acotación, por lo que se habla de contaminación difusa. Durante los eventos de precipitación, la contaminación acumulada en la superficie durante el tiempo seco es lavada y arrastrada hacia la red de colectores. Y si la red es unitaria (como ocurre en la mayoría de los sistemas españoles), a lo anterior hay que añadir el efecto del lavado de los sedimentos que durante el tiempo seco se han ido depositando en la red como consecuencia del tránsito de las aguas residuales. El impacto en el medio receptor de tales escorrentías genera por tanto problemas graves como la caída del oxígeno disuelto (que puede provocar la mortandad de especies y la reducción de la oxidación natural de elementos tóxicos), el incremento de las concentraciones de nutrientes (con el consiguiente riesgo de eutrofización), la contaminación por agentes patógenos (que puede derivar en problemas de salud pública, por ejemplo, en aguas de baño) o la acumulación de elementos tóxicos (que puede tener consecuencias en la cadena trófica, y por otra parte, aumenta los costes de potabilización del agua). En definitiva, el problema de la contaminación de las escorrentías urbanas y de su vertido directo al medio natural es una cuestión grave que merece la misma atención que en su día requirió el tratamiento de las aguas residuales. No obstante, la naturaleza intermitente del

proceso de lluvia induce a encontrar soluciones que respondan correctamente con un funcionamiento discontinuo.

3. ENFOQUE ALTERNATIVO PARA LA GESTIÓN DE PLUVIALES

La necesidad de afrontar la gestión de las aguas pluviales desde una perspectiva diferente a la convencional, que combine aspectos hidrológicos, medioambientales y sociales, está llevando a un rápido aumento a nivel mundial del uso de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS), también conocidos como BMP's (Best Management Practices) o WSUD (Water Sensitive Urban Design), entre otras acepciones.

La filosofía de los SUDS es reproducir, de la manera más fiel posible, el ciclo hidrológico natural previo a la urbanización o actuación humana. Su objetivo es minimizar los impactos del desarrollo urbanístico en cuanto a la cantidad y la calidad de la escorrentía (en origen, durante su transporte y en destino), así como maximizar la integración paisajística y el valor social y ambiental de la actuación (2).

Los SUDS engloban un amplio espectro de soluciones que permiten afrontar el planeamiento, diseño y gestión de aguas pluviales dando tanta importancia a los aspectos medioambientales y sociales como a los hidrológicos e hidráulicos.

Pero la utilidad de estas medidas va más allá de la gestión de las escorrentías urbanas en tiempo de lluvia. El sistema concebido inicialmente para resolver problemas en tiempo húmedo, es además útil para gestionar otros tipos de escorrentía superficial en tiempo seco, como la producida por sobrantes de riego, baldeo de calles, vaciado de fuentes y estanques ornamentales, etc.

En este sentido, cabe mencionar la posibilidad de reutilización de las aguas grises de edificios (aguas provenientes de lavabo, bidet, ducha y bañera), que con un mínimo tratamiento (bien por medio de técnicas SUDS o con pequeños equipos de depuración), podrían aportar un caudal constante de abastecimiento para ciertos usos que no requieren la calidad de agua potable, como por ejemplo las cisternas de los inodoros o el riego de superficies ajardinadas.

Los objetivos de los SUDS se podrían resumir en los siguientes aspectos (3):

- *Proteger los sistemas naturales:* proteger y mejorar el ciclo del agua en entornos urbanos.
- *Integrar el tratamiento de las aguas de lluvia en el paisaje:* maximizar el servicio al ciudadano mejorando el paisaje con la integración de cursos y/o láminas de agua en el entorno.
- *Proteger la calidad del agua:* proteger la calidad de las aguas receptoras de escorrentías urbanas.
- *Reducir volúmenes de escorrentía y caudales punta:* reducir caudales punta procedentes de zonas urbanizadas mediante elementos de retención y minimizando áreas impermeables.
- *Incrementar el valor añadido minimizando costes:* minimizar el coste de las infraestructuras de drenaje al mismo tiempo que aumenta el valor del entorno.

La reducción de volúmenes de escorrentía y caudales punta puede solucionar la incapacidad hidráulica de la red de colectores convencional debida al crecimiento urbano no previsto en las fases de planificación de la misma. Con esto puede evitarse la necesidad de desdoblamiento de la red convencional o el hecho de tener que asumir inundaciones más frecuentes.

Por otra parte, la reducción del volumen de escorrentía y caudales punta redundará en un mejor funcionamiento de las estaciones depuradoras, al darse las siguientes condiciones:

- Reducción de costes al reducirse el volumen de los influentes en las mismas.
- Reducción de costes al no alterarse frecuentemente el patrón de contaminantes para el que la depuradora ha sido diseñada.
- Reducción del número de vertidos (DSU) a la entrada de la depuradora por incapacidad de la misma.

Desde esta perspectiva, el empleo de SUDS no sólo mejora la gestión de las aguas pluviales, sino la gestión del agua en general, tanto en cuanto al abastecimiento como al drenaje y posterior tratamiento.

Tabla 1. Comparación entre el sistema de drenaje convencional y el sistema alternativo SUDS (4).

| | SISTEMA CONVENCIONAL COLECTORES | SISTEMA ALTERNATIVO SUDS |
|---|---|---|
| Coste de construcción | Pueden ser equivalentes, aunque los usos indirectos de los SUDS reducen su coste real | |
| Costes de operación y mantenimiento | Establecido | No establecido: falta experiencia |
| Control de inundaciones en la propia cuenca | Sí | Sí |
| Control de inundaciones aguas abajo | No | Sí |
| Reutilización | No | Sí |
| Recarga / Infiltración | No | Sí |
| Eliminación de contaminantes | Baja | Alta |
| Beneficios en servicios al ciudadano | No | Sí |
| Beneficios educacionales | No | Sí |
| Vida útil | Establecida | No establecida: falta experiencia |
| Requerimientos de espacio | Insignificantes | Dependiendo del sistema, pueden ser importantes |
| Criterios de diseño | Establecidos | No establecidos: falta experiencia |

4. TIPOLOGÍAS

Aunque no existe un consenso universal para la clasificación de las diferentes tipologías de SUDS (ni menos aún para su denominación en castellano), una de las más recurrentes en la literatura es la que se muestra a continuación.

4.1. Medidas no estructurales

Las medidas no estructurales previenen por una parte la contaminación del agua reduciendo las fuentes potenciales de contaminantes y por otra evitan parcialmente el tránsito de las escorrentías hacia aguas abajo y su contacto con contaminantes.

Entre las medidas estructurales de mayor difusión cabe citar las siguientes:

- Educación y programas de participación ciudadana para:
 - Concienciar a la población del problema y sus soluciones
 - Identificar agentes implicados y esfuerzos realizados hasta la fecha
 - Cambio de hábitos
 - Hacer partícipe del proceso a la población, integrando sus comentarios en la implementación de los programas

- Planificar y diseñar minimizando las superficies impermeables para reducir la escorrentía.
- Limpieza frecuente de superficies impermeables para reducir la acumulación de contaminantes.
- Controlar la aplicación de herbicidas y fungicidas en parques y jardines.
- Controlar las zonas en obras para evitar el arrastre de sedimentos.
- Asegurar la existencia de procedimientos de actuación y equipamiento adecuado para tratar episodios de vertidos accidentales rápidamente y con técnicas secas en lugar de limpieza con agua.
- Limitar el riesgo de que la escorrentía entre en contacto con contaminantes.
- Control de las conexiones ilegales al sistema de drenaje.
- Recogida y reutilización de pluviales.

4.2. Medidas estructurales

Se consideran medidas estructurales aquellas que gestionan la escorrentía contaminada mediante actuaciones que contengan en mayor o menor grado algún elemento constructivo o supongan la adopción de criterios urbanísticos *ad hoc*.

Las medidas estructurales más utilizadas son las siguientes:



Figura 3. Cubiertas vegetadas.

- **Cubiertas vegetadas** (*Green-roofs*)

Sistemas multicapa con cubierta vegetal que recubren tejados y terrazas de todo tipo. Están concebidas para interceptar y retener las aguas pluviales, reduciendo el volumen de escorrentía y atenuando el caudal pico. Además retienen contaminantes, actúan como capa de aislante térmico en el edificio y ayudan a compensar el efecto “*isla de calor*” que se produce en las ciudades.



Figura 4. Superficies permeables.

- **Superficies Permeables** (*Porous / Permeable Paving*)

Pavimentos que permiten el paso del agua a su través, abriendo la posibilidad a que ésta se infiltre en el terreno o bien sea captada y retenida en capas sub-superficiales para su posterior reutilización o evacuación. Existen diversas tipologías, entre ellas: césped o gravas (con o sin refuerzo), bloques impermeables con juntas permeables, bloques y baldosas porosos, pavimentos continuos porosos (asfalto, hormigón, resinas, etc.).



Figura 5. Franjas filtrantes.

- **Franjas Filtrantes** (*Filter Strips*)

Franjas de suelo vegetadas, anchas y con poca pendiente, localizadas entre una superficie dura y el medio receptor de la escorrentía (curso de agua o sistema de captación, tratamiento, y/o evacuación o infiltración). Propician la sedimentación de las partículas y contaminantes arrastrados por el agua, así como la infiltración y disminución de la escorrentía.

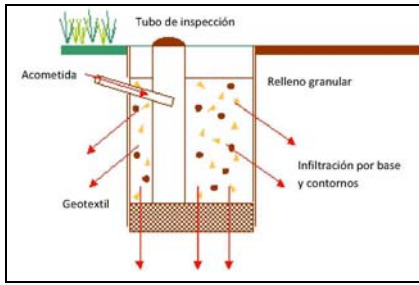


Figura 6. Pozos y zanjas de infiltración.

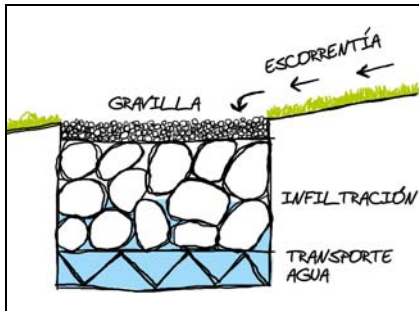


Figura 7. Drenes filtrantes.



Figura 8. Cunetas verdes.

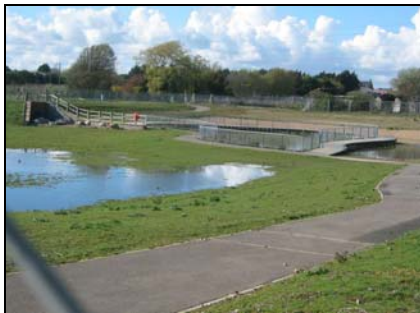


Figura 9. Depósitos de infiltración.



Figura 10. Depósitos de detención en superficie.

- **Pozos y Zanjas de Infiltración**

(Soakaways & Infiltration Trenches)

Pozos y zanjas poco profundos (1 a 3 m) rellenos de material drenante (granular o sintético), a los que vierte escorrentía de superficies impermeables contiguas. Se conciben como estructuras de infiltración capaces de absorber totalmente la escorrentía generada por la tormenta de diseño para la que han sido diseñadas.

- **Drenes Filtrantes o Franceses** *(Filter Drains)*

Zanjas poco profundas rellenas de material filtrante (granular o sintético), con o sin conducto inferior de transporte, concebidas para captar y filtrar la escorrentía de superficies impermeables contiguas con el fin de transportarlas hacia aguas abajo. Además pueden permitir la infiltración y la laminación de los volúmenes de escorrentía.

- **Cunetas Verdes** *(Swales)*

Estructuras lineales vegetadas de base ancha ($> 0,5$ m) y talud tendido ($< 1V:3H$) diseñadas para almacenar y transportar superficialmente la escorrentía. Deben generar bajas velocidades ($< 1-2$ m/s) que permitan la sedimentación de las partículas para una eliminación eficaz de contaminantes. Adicionalmente pueden permitir la infiltración a capas inferiores.

- **Depósitos de Infiltración** *(Infiltration Basins)*

Depresiones del terreno vegetadas diseñadas para almacenar e infiltrar gradualmente la escorrentía generada en superficies contiguas. Se promueve así la transformación de un flujo superficial en subterráneo, consiguiendo adicionalmente la eliminación de contaminantes mediante filtración, adsorción y transformaciones biológicas.

- **Depósitos de Detención** *(Detention Basins)*

En Superficie

Depósitos superficiales diseñados para almacenar temporalmente los volúmenes de escorrentía generados aguas arriba, laminando los caudales punta. Favorecen la sedimentación y con ello la reducción de la contaminación. Pueden emplazarse en “zonas muertas” o ser compaginados con otros usos, como los recreacionales, en parques e instalaciones deportivas.



Figura 11. Depósito de detención enterrado.

- **Depósitos de Detención** (*Detention Basins*)

Enterrados

Cuando no se dispone de terrenos en superficie, o en los casos en que las condiciones del entorno no recomiendan una infraestructura a cielo abierto, estos depósitos se construyen en el subsuelo. Se fabrican con materiales diversos, siendo los de hormigón armado y los de materiales plásticos los más habituales.



Figura 12. Estanque de retención.

- **Estanques de Retención** (*Retention Ponds*)

Lagunas artificiales con lámina permanente de agua (de profundidad entre 1,2 y 2 m) con vegetación acuática, tanto emergente como sumergida. Están diseñadas para garantizar largos periodos de retención de la escorrentía (2-3 semanas), promoviendo la sedimentación y la absorción de nutrientes por parte de la vegetación. Contienen un volumen de almacenamiento adicional para la laminación de los caudales punta.



Figura 13. Humedal.

- **Humedales** (*Wetlands*)

Similares a los anteriores pero de menor profundidad y con mayor densidad de vegetación emergente, aportan un gran potencial ecológico, estético, educativo y recreativo.

5. CRITERIOS GENERALES DE DISEÑO

Para tratar reproducir la hidrología natural de la cuenca de estudio, es necesario establecer una cadena de gestión de la escorrentía. Las técnicas de SUDS vistas en el apartado anterior, deben combinarse y enlazarse para alcanzar los objetivos globales establecidos para el sistema.

La jerarquía de técnicas a considerar en el diseño de la cadena de gestión comprende (figura 14):

- *Prevención:* Se basa en la aplicación de las medidas no estructurales.
- *Control en Origen:* control de la escorrentía en la fuente o en sus inmediaciones.
- *Gestión en entorno urbano:* gestión del agua a escala local.
- *Gestión en cuencas:* gestión de la escorrentía a escala regional.

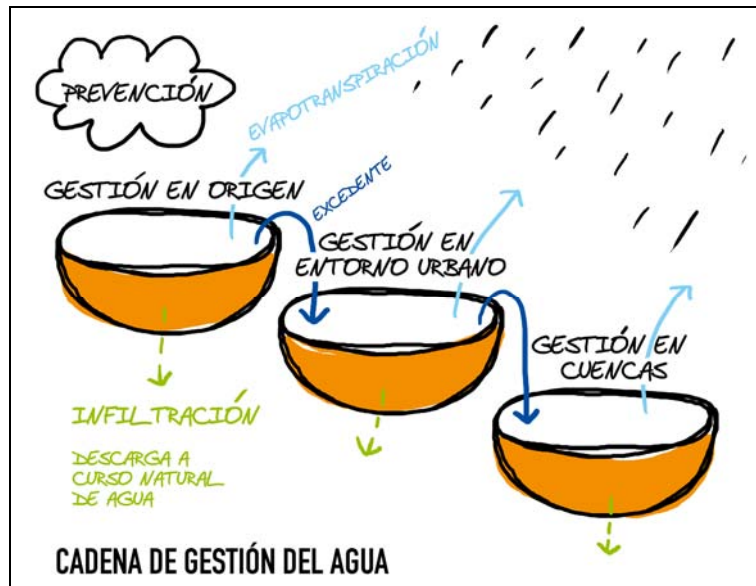


Figura 14. Cadena de gestión en el sistema SUDS.

La planificación y el diseño de un sistema SUDS deben enfocarse como una tarea multidisciplinar, en la que deben intervenir disciplinas como la hidrología, hidráulica, geotecnia, cálculo de estructuras, impacto ambiental, paisajismo, urbanismo, etc. Asimismo, debe involucrar a todos los agentes implicados en el proceso, desde las etapas previas de planeamiento hasta el uso y explotación de las infraestructuras.

Si bien son muchas las disciplinas a tener en cuenta, la hidrología y la hidráulica pueden considerarse las más importantes de cara al correcto dimensionamiento de las infraestructuras. La lluvia es el origen del proceso, por lo que su caracterización es fundamental para abordar con éxito el problema.

Los episodios de precipitación más frecuentes son eventos de pequeña magnitud en cuanto a volumen de lluvia. A modo de ejemplo, en la ciudad de Valencia, entre el 60 y el 70 % de los eventos de precipitación tienen menos de 5 mm de lluvia bruta. Y son precisamente estos eventos frecuentes los que generan altas concentraciones de contaminantes en las escorrentías urbanas (fenómeno de primer lavado o *first flush*). Su control será por tanto primordial para la reducción de la contaminación vertida a los medios receptores. Por otra parte, a los eventos extremos, con períodos de retorno altos, corresponde el diseño para evitar inundaciones. Por lo tanto, un diseño integral desde el punto de vista de la calidad y la cantidad debe trabajar con todo el espectro de eventos de lluvia, desde los eventos frecuentes y de pequeña entidad hasta los eventos raros y de gran magnitud (figura 3). Así como en países como el Reino Unido o los Estados Unidos existen normativas que fijan los períodos de retorno y las duraciones de las lluvias a emplear para alcanzar cada uno de los objetivos, en España existe una disparidad de criterios, incluso en ámbitos climáticos similares.

Tabla 2. Selección del nivel de recurrencia según el objetivo de diseño.

| Objetivo de diseño | Período de retorno de la lluvia (años) | | | | |
|--|--|-----|---|----|-----|
| | 0.01 | 0.1 | 1 | 10 | 100 |
| Técnicas de infiltración | | | | | |
| Control de la contaminación | | | | | |
| Control de la erosión en el medio receptor | | | | | |
| Control de las inundaciones | | | | | |

En lo que respecta a los aspectos hidráulicos, una variable muy importante en el proceso de diseño es la determinación de los volúmenes útiles de almacenamiento de las diferentes infraestructuras. Los condicionantes climatológicos locales son muy importantes, por lo que se deriva una gran dispersión en los ratios volumétricos (volumen de almacenamiento por unidad de superficie impermeable) a adoptar.

En España, la mayoría de las metodologías desarrolladas se basan en la obtención de ratios de almacenamiento a partir de la simulación continua de series históricas de precipitación, siendo los resultados bastante dispares en función del objetivo medioambiental fijado.

En Barcelona, el volumen óptimo de depósito se fija en aquel que reduce a 1/3 el número de vertidos anuales respecto de la situación sin depósitos. Además, se comprueba que ese valor corresponde al punto a partir del cual es necesario aumentar un 5% el volumen del depósito para conseguir retener un episodio más de lluvia.

En el ámbito de la Confederación Hidrográfica del Norte, los criterios son muy dispares; algunos autores apuntan a ratios entre 4 y 10 m³/ha impermeable (5); en Asturias, el criterio habitual es que los depósitos sean capaces de retener los caudales entrantes correspondientes a una lluvia de intensidad 10l/ha y 20 minutos de duración, lo cual representa un ratio de 12 m³/ha impermeable. Sin embargo, existen otros estudios que apuntan a ratios de hasta 120 m³/ha impermeable (6).

Otro aspecto muy importante a tener en cuenta en el proceso de diseño es el que se refiere a los procesos de tratamiento y eliminación de contaminantes. Entre los mecanismos de eliminación de contaminantes, cabe citar los siguientes:

- *Sedimentación*: es uno de los mecanismos fundamentales; gran parte de los contaminantes están ligados a fracciones de sedimento, por lo que la eliminación de éstas redundaría en una reducción de los contaminantes asociados.
- *Filtración y bio-filtración*: los contaminantes transportados en asociación con los sedimentos deben ser filtrados antes de la infiltración de las aguas; esto puede efectuarse mediante elementos vegetales, geotextiles o filtros naturales.
- *Adsorción*: es un proceso complejo por el cual los contaminantes son retenidos al entrar en contacto con ciertas partículas del suelo.
- *Biodegradación*: además de los procesos químicos, se pueden establecer igualmente procesos biológicos de degradación.
- *Volatilización*: la transformación de ciertos contaminantes en gases puede ocurrir en compuestos derivados del petróleo y en ciertos pesticidas.
- *Precipitación*: es el mecanismo más común para eliminar metales pesados, transformando constituyentes solubles en partículas insolubles, eliminadas por sedimentación.
- *Plantas*: el consumo de nutrientes por parte de las plantas es un mecanismo importante de eliminación de estos contaminantes (fósforo, nitrógeno).
- *Nitrificación*: proceso en el cual el amonio se transforma primero en nitrito y éste en nitrato, mediante la acción de las bacterias aerobias del suelo. Los nitratos pueden ser consumidos por las especies vegetales.

Un buen programa de mantenimiento de los sistemas SUDS deberá concebirse desde la etapa de planeamiento, y de él dependerá en gran medida la eficacia del mismo. Se tendrán en cuenta aspectos como la titularidad de las infraestructuras, los medios disponibles, la ubicación, la frecuencia de funcionamiento esperada, etc.

6. GRADO DE IMPLANTACIÓN

6.1. Europa y el mundo

En los Estados Unidos, al igual que ocurría en muchos otros lugares, durante muchos años se enfocó la legislación en materia de drenaje urbano al problema de las inundaciones. Sin embargo, ya en la década de los 70 se reconoció el problema de la contaminación difusa, reflejando en 1987 esta problemática en la *Clean Water Act* que derivó en programas específicos de actuación para resolver este problema. La progresiva concienciación durante las dos últimas décadas de la necesidad de mejorar la calidad de las aguas condujo a la aparición del concepto de *Best Management Practices* (BMPs). Desde el desarrollo de las BMP, varios estados y gobiernos locales han adoptado un gran número de leyes, normativas y ordenanzas para fomentarlos u obligar a su utilización (7). Un proceso similar es el que se produjo en Australia a finales de la década de los 90, contando en la actualidad con normativa, legislación y manuales de diseño propios.

En Europa, la gestión de las escorrentías urbanas se ha centrado en el control de las inundaciones, y no ha sido hasta hace aproximadamente una década cuando se ha empezado a tomar conciencia del problema de la contaminación difusa. A partir de entonces, comienzan a adoptarse criterios combinados de cantidad y calidad, intentando maximizar la integración paisajística y el valor social y ambiental de las actuaciones.

El uso de las diferentes técnicas SUDS está más extendido en los países del centro y norte de Europa que en la zona sur, donde países como España, Italia, Grecia y Portugal cuentan todavía con escasas experiencias. Por otra parte, las tipologías de SUDS empleadas varían entre países.

Como ejemplo de implantación integral de técnicas SUDS en una actuación urbanística cabe citar el proyecto *Porte des Alpes* en Lyon (Francia). Durante el planeamiento del parque tecnológico *Porte des Alpes* en St. Priest (200 ha) se adoptaron técnicas SUDS para dar respuesta a los diferentes condicionantes del lugar, entre ellos la falta de una salida natural de drenaje. De este modo, se conjugaron soluciones como cunetas verdes (figura 15), drenes filtrantes, estanques de retención (figura 16) y depósitos de infiltración (figura 17) que constituyen el punto final del sistema. Las instalaciones están abiertas al público permitiendo el desarrollo de otras actividades: educativas, recreativas y deportivas (figuras 16 y 17). El bienestar de los trabajadores del parque fue considerado durante el proceso de diseño, obteniendo como resultado un entorno agradable de trabajo. Así mismo, el recinto recibe múltiples visitas tanto de grupos escolares como de profesionales interesados en el desarrollo de estas técnicas (figura 18).



Figura 15. Cuneta verde (Lyon, Francia).



Figura 16. Estanque de retención (Lyon, Francia).



Figura 17. Campo de fútbol integrado en un depósito de detención e infiltración (Lyon, Francia).



Figura 18. Visita educativa (Lyon, Francia).

Aunque la aplicabilidad de estas tecnologías parece evidente para zonas de nuevo desarrollo, no deben descartarse en zonas ya consolidadas. Como ejemplo cabe citar las actuaciones que se están acometiendo en la ciudad de Nijmegen (Holanda), que se centran en la idea de desconectar áreas impermeables (tejados y superficies pavimentadas) de la red de colectores, utilizando en su lugar soluciones tipo SUDS para gestionar estas escorrentías (cubiertas vegetadas, pavimentos porosos, almacenamiento para posterior reutilización en cisternas de inodoros y riego de jardines, etc.).

6.2. España

Estas tecnologías alternativas de drenaje urbano no se han consolidado todavía en España. Un escollo importante y argumento habitual de los técnicos más escépticos, es la diferencia evidente entre los patrones de lluvia en el Mediterráneo y el norte de Europa, cuna de desarrollo de los SUDS en el continente. El carácter torrencial de las precipitaciones en las vertientes mediterráneas (altas intensidades de pico y cortas duraciones de evento) hace replantear la eficiencia que los SUDS puedan tener bajo estas condiciones. Sin embargo, en lugares de Estados Unidos y Australia con climatología más similar a la española, estas técnicas están muy extendidas.

No obstante, el interés por los mismos es patente, y en los últimos años se están empezando a desarrollar, aunque de forma todavía tímida, estos sistemas.

La tipología más desarrollada en España, incluso arraigada en algunos casos, es la que corresponde a los depósitos de laminación y/o retención. De este modo, en ciudades como Barcelona y Madrid, así como en el ámbito de la Confederación Hidrográfica del Norte, se ha realizado un esfuerzo considerable en la materia.

Actualmente existen en servicio 10 depósitos de uso mixto en Barcelona (con objetivos tanto anti-DSU como de control de inundaciones), con un volumen útil total de 400 000 m³. Además, existen otros 31 planificados en la ciudad y su área metropolitana que añaden 1 150 000 m³ más.

En Madrid, se ha desarrollado el Plan de Mejora de la Calidad de las Aguas del Río Manzanares, con objeto de alcanzar el buen estado ecológico (Directiva 2000/60/CE) del río mediante la construcción de tanques de tormenta que aseguren la calidad del tramo urbano de río y del ecosistema fluvial aguas abajo del mismo. En total, se han planificado 27 depósitos, con un volumen total de 1 300 000 m³; los depósitos de Arroyofresno y Butarque cuentan cada uno de ellos con 400 000 m³.



Figura 19. Aparcamiento permeable en Gijón.



Figura 20. Pavimento permeable en San Sebastián.

Aunque de forma más aislada, otras tipologías de SUDS han ido implantándose en los últimos años. Entre ellas destacan los pavimentos permeables (figuras 19 y 20), en ocasiones combinados con pequeños depósitos de laminación y reutilización de agua para riego (figura 21).

Otro tipo de actuaciones en auge es el uso de drenes filtrantes en las cunetas longitudinales de las carreteras debido sobre todo al incremento en seguridad vial que éstas suponen respecto de la cuneta convencional (figura 22). Así, se ha instalado tanto en carreteras de titularidad autonómica (CV-50 en el término de Alzira, Valencia) como estatal (autovía del noroeste A6).



Figura 21. Parque de Gomeznarro en Madrid.



Figura 22. Dren filtrante. Actuación de nivelación de cuneta en Alzira.

La aparición de publicaciones españolas divulgando experiencias en otros países como el *Manual de Diseño: La Ciudad Sostenible* (8), así como el desarrollo de normativa local, está promoviendo que se adopten estas tecnologías desde la fase de planeamiento. En Madrid, la *Ordenanza de Gestión y Uso Eficiente del Agua en la Ciudad de Madrid* (9), en su artículo 8 establece que en las actuaciones de urbanización debe minimizarse la proporción de pavimentos impermeables, con objeto de favorecer la infiltración, estableciendo unos mínimos de permeabilidad en aceras, bulevares, medianas, plazas y zonas verdes urbanas. Así, empiezan a aparecer planes urbanísticos concebidos desde su inicio con una perspectiva de SUDS; este es el caso de actuaciones en los barrios de Torre Baró y La Marina del Prat Vermell en Barcelona o Plata y Castañar en Villaverde, Madrid.

7. CONCLUSIONES

El concepto de SUDS cumple los objetivos fijados por la legislación española y europea en materia de aguas.

Con un buen planeamiento, diseño, construcción y mantenimiento, los SUDS pueden mitigar muchos de los efectos adversos que la escorrentía urbana provoca al medio ambiente. Está ya ampliamente reconocido que el uso de SUDS, en contraste con los sistemas convencionales de drenaje, aporta múltiples beneficios:

- Reducir los caudales punta disminuyendo el riesgo de inundación aguas abajo.
- Reducir volumen y frecuencia de escorrentías desde áreas urbanizadas hacia cauces naturales o redes de alcantarillado, para reproducir el drenaje natural y reducir el riesgo de inundación.
- Aumentar la calidad del agua procedente de las escorrentías, eliminando los contaminantes procedentes de fuentes difusas.
- Mejorar el paisaje urbano y ofrecer un mejor servicio al ciudadano.
- Reducir el número de descargas de sistemas unitarios (DSU).
- Minimizar la afección al régimen de funcionamiento de los cauces naturales.
- Restituir el flujo subterráneo hacia los cursos naturales mediante infiltración.

Así mismo, el uso de SUDS redunda en una reducción del coste de tratamiento respecto de los sistemas convencionales, habiéndose constatado ahorros entre el 18 y el 50% (4). Además existen datos que evidencian un ahorro en costes de construcción junto con la revalorización de las urbanizaciones. (10).

En España es necesario un esfuerzo de los técnicos en la materia, acompañado de una labor de divulgación para comenzar a beneficiarse de manera generalizada de las múltiples ventajas de los SUDS. El proceso de implantación exigiría cubrir las siguientes fases:

- Concienciación (ciudadanos, poderes públicos, universidad, empresas públicas y privadas...)
- Elaboración de manuales de diseño y construcción
- Redacción de normativa y legislación
- Monitorización de las experiencias que se van realizando
- Investigación de nuevas técnicas, materiales, procesos constructivos...
- Incorporación de los nuevos conocimientos adquiridos a manuales y normativa

La experiencia del resto del mundo debe facilitar la labor de implantación en España. Además de los numerosos manuales y artículos técnicos publicados en la materia, existen también guías para la elaboración de los mismos (11).

BIBLIOGRAFÍA

- (1) Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2000, por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas. Diario Oficial n° L 327 de 22/12/2000 p. 0001-0073.
- (2) Woods-Ballard B.; Kellagher R.; Martin P.; Jefferies C.; Bray R.; Shaffer P. (2007) The SUDS Manual. CIRIA C697. London. 1.1-25.17.
- (3) Victorian Stormwater Committee (1999) Urban Stormwater Best practice environmental management guidelines, CSIRO, Melbourne, Australia.
- (4) Deutsh J. C.; Revitt M.; Ellis B.; Scholes L. (2003) DAYWATER, Report 5.1. Review of the Use of Stormwater BMPs in Europe. Middlesex University. United Kingdom. 1-98.
- (5) De Frutos G.; Revilla J. A.; Azpiazu L. M.; García A.; Vassileva S.; Soriano T.; Juanes J. A. y Álvarez C. (1999) Modelos de prediseño de tanques de tormenta de redes de saneamiento litorales, atendiendo a la calidad bacteriológica del medio receptor. Resultados preliminares. V Jornadas Españolas de Puertos y Costas, (2):1061-1073.
- (6) Temprano González J.; Suárez López J. y Tejero Monzón I. (1998) Dimensioning criteria for storm water tanks for Santander. European Water Management, 1 (4): 55-60.
- (7) Muthukrishnan S.; Madge B.; Selvakumar A.; Field R.; Sullivan D. (2004) The Use of Best Management Practices (BMPs) in Urban Watersheds. US Environmental Protection Agency. Office of Research and Development. EPA/600/R-04/184. Washington. 1.1-6.16.
- (8) Geohábitat © (2002) Manual de diseño. La ciudad sostenible. Ministerio de Economía. Instituto para la Diversificación y ahorro de la Energía (IDAE). Madrid. 1-166.
- (9) Ayuntamiento de Madrid. Ordenanza de Gestión y Uso Eficiente del Agua en la Ciudad de Madrid. Madrid. 1-108.
- (10) New Jersey Department of Environmental Protection (2000) Manual for New Jersey: best management practices for control of nonpoint sour pollution for stormwaters. New Jersey Department of Environmental Protection, Trenton, NJ.
- (11) Strecker E. W.; Quigley M.; Leisenring M. (2007) Critical assessment of stormwater treatment and control selection issues. Implications and recommendations for design standards. Novatech 2007. Sustainable Techniques and Strategies in Urban Water Management. 6th International Conference. Lyon, France. June 2007. (1): 263-270.