

LOS SISTEMAS URBANOS DE DRENAJE SOSTENIBLE (SUDS) EN LA HIDROGEOLOGÍA URBANA

PERALES MOMPALER, Sara. PME Ingeniería, Valencia
ANDRÉS DOMÉNECH, Ignacio. Dep. Ing. Hidráulica y Medio Ambiente. UPV
FERNÁNDEZ ESCALANTE, A. Enrique. GRUPO TRAGSA I+D+i, MADRID

PALABRAS CLAVE

Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible, SUDS, hidrogeología urbana, recarga artificial de acuíferos, Managed Aquifer Recharge, MAR.

RESUMEN

La expansión de los núcleos urbanos conlleva una progresiva impermeabilización del suelo con incidencia directa y negativa en el ciclo hidrológico natural del agua. Los sistemas de drenaje convencionales cada vez son mayores y requieren depurar un agua de lluvia que, en su origen, era limpia. Este hecho conlleva la necesidad de afrontar la gestión de las aguas pluviales desde una perspectiva que combine aspectos hidrológicos, medioambientales y sociales, dando así cabida a los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS), también conocidos como BMP's (Best Management Practices). La filosofía de los SUDS es reproducir en la medida de lo posible el ciclo hidrológico natural previo a las actuaciones antrópicas. De este modo se cumple el objetivo de disminuir la cantidad y la calidad de la escorrentía y se maximiza la integración paisajística y el valor social y ambiental de la actuación. Esta comunicación resume el estado del arte, define las tipologías de SUDS más utilizadas a nivel mundial y algunos proyectos españoles y sus expectativas de expansión para así integrar esta alternativa innovadora, eficiente y más sostenible de gestionar el agua de lluvia.

1. INTRODUCCIÓN

La Directiva 2000/60/CE 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), también designados BMP's (*Best Management Practices*) o WSUD (*Water Sensitive Urban Design*), o actuaciones genéricas en el marco del RH (*Rainwater Harvesting*). 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 hidrogeológicos. Los SUDS pueden utilizarse como alternativa a los sistemas de drenaje convencional o en combinación con ellos.

2. OBJETIVOS

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. Más tarde describe el grado de implantación de estas técnicas en el mundo y en España. Posteriormente, se describen las tipologías más comunes y se analizan los criterios generales de diseño.

3. ESTADO DEL ARTE

La evolución de las infraestructuras de drenaje y saneamiento de una ciudad se inició mediante la canalización y control de las aguas residuales; posteriormente, encauzando 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. Hoy en día las aguas de lluvia, lejos de ser aguas limpias, son una fuente importante de contaminación, máxime si la red es unitaria y más aún cuando los índices de urbanización superan las planificaciones iniciales.

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 acelerando los tiempos de respuesta (figura 1), e incrementando el riesgo de inundaciones.

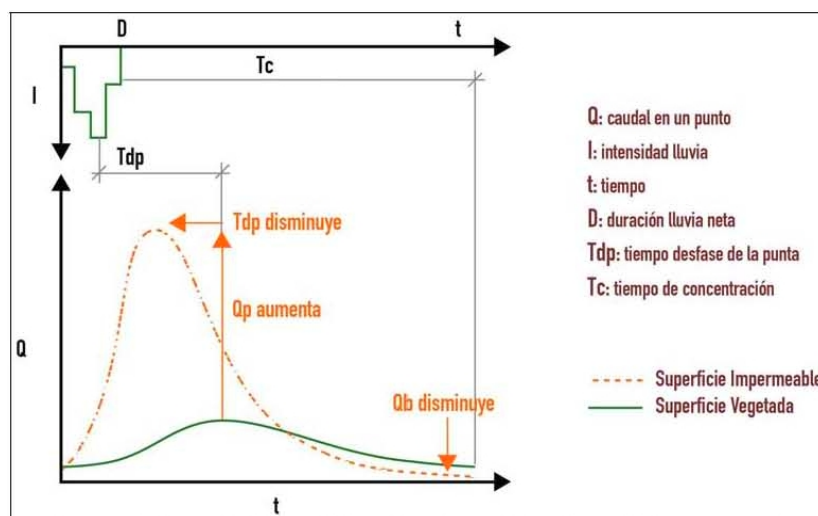


Figura 1. Cambios inducidos por el desarrollo urbano en la transformación lluvia-escorrentía.

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, etc. En forma de contaminación difusa. Durante los eventos de precipitación, la contaminación acumulada en la superficie es conducida hacia la red de colectores, lo que se une al arrastre de sedimentos en el caso de redes unitarias (la mayoría de los sistemas españoles). El impacto en el medio receptor se traduce en problemas derivados del descenso de la concentración de 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), la acumulación de elementos tóxicos (que puede tener consecuencias en la cadena trófica, etc.). Socialmente, además, aumentan los costes de potabilizar el agua.

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 hidrogeológicos. 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, que con un mínimo tratamiento (bien por medio de SUDS o con pequeños equipos de depuración), lo que podría aportar un caudal constante de abastecimiento para ciertos usos con exigencias cualitativas menores (saneamiento, riego, etc.).

Los objetivos de los SUDS se podrían resumir en los siguientes aspectos [según VSC, 1999 (3)]:

- Proteger los sistemas naturales del ciclo del agua en entornos urbanos.
- Integrar el tratamiento de las aguas de lluvia en el paisaje.
- Proteger la calidad de las aguas receptoras de escorrentías urbanas.
- Reducir volúmenes de escorrentía y caudales punta procedentes de zonas urbanizadas mediante elementos de retención y menos 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 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.
- 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.

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.

	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

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

En cuanto a su grado de implantación, conviene mencionar que 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 y en la Unión India 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. Como ejemplos de implantación integral de técnicas SUDS en una actuación urbanística cabe citar el proyecto *Porte des Alpes* en Lyon (Francia) (11)

donde se adoptaron técnicas SUDS conjugando varias tipologías para dar respuesta a la falta de una salida natural de drenaje y otros condicionantes. De las actuaciones en zonas ya consolidadas cabe citar las de Nijmegen (Holanda), centradas 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.).

En el caso de España, estas tecnologías se encuentran en un estado incipiente. 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), a pesar de haber una fuerte implantación en zonas de Estados Unidos y Australia con climatología más similar a la española, donde estas técnicas están muy extendidas.

En los últimos años se están empezando a desarrollar estos sistemas. La tipología más desarrollada en España es la que corresponde a los depósitos de laminación y/o retención, por tener cierta tradición. De este modo, en Barcelona existen en servicio 10 depósitos de uso mixto (con objetivos tanto anti-DSU como de control de inundaciones), con un volumen útil total de 0,4 hm³. Además, existen otros 31 planificados en la ciudad y su área metropolitana que añaden 1,15 hm³ más.

En Madrid, se ha desarrollado el Plan de Mejora de la Calidad de las Aguas del río Manzanares, en cumplimiento de la Directiva 2000/60/CE, 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.

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 en Madrid.

Aunque de forma más aislada, otras tipologías de SUDS han ido implantándose en los últimos años. Entre ellas destacan los pavimentos permeables, en ocasiones combinados con pequeños depósitos de laminación y reutilización de agua para riego, cunetas longitudinales de las carreteras, etc. A este respecto cabe destacar el fuerte esfuerzo de la Confederación Hidrográfica del Norte en la materia.



Figuras 2 a) y b). Aparcamiento permeable en Gijón y pavimento permeable en el Parque de Gomeznarro, en Madrid.

5. TIPOLOGÍAS

Gran parte de los SUDS surgen de sistemas tradicionales de recarga artificial de acuíferos (especialmente inducida), aunque en general a menor escala, como son los diques permeables, pozos o depósitos de fondo permeable, zanjas drenantes, etc. Otros están fuertemente conectados con algunas técnicas de Tratamiento de Suelo y Acuífero (SATs) en cuanto a mejoras parciales para incrementar la tasa de infiltración del agua de escorrentía en el subsuelo urbano. 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.

5.1. 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 más utilizadas son:



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 subsuperficiales 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



Figura 5. Franjas filtrantes.

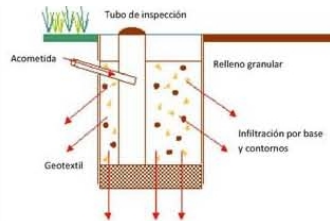


Figura 6. Pozos y zanjas de infiltración.

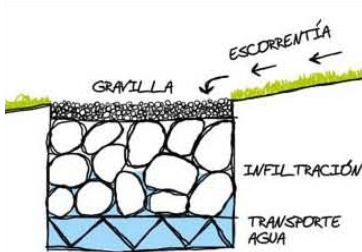


Figura 7. Drenes filtrantes.



Figura 8. Cunetas verdes.



Figura 9. Depósitos de infiltración.



Figura 10. Depósitos de

porosos (asfalto, hormigón, resinas, etc.).

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.

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 para transportarlas hacia aguas abajo. Además pueden permitir la infiltración y la laminación de la 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 superficiales de detención (*Detention Basins*)

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

detención en superficie.



Figura 11. Depósito de detención enterrado.



Figura 12. Estanque de retención.



Figura 13. Humedal artificial.

parques e instalaciones deportivas.

Depósitos enterrados de detención (*Detention Basins*)

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.

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). Contienen un volumen de almacenamiento adicional para laminar caudales punta.

Humedales artificiales (*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.

5.2. 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. Cabe citar:

- Educación y programas de participación ciudadana.
- Planificar y diseñar minimizando las superficies impermeables.
- 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.
- Limitar el riesgo de que la escorrentía entre en contacto con contaminantes.
- Etc.

6. 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, la hidráulica y la hidrogeología 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. 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.

Objetivo de diseño	Periodo 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				■	

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

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 a la situación sin depósitos. 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 CH 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:

- 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 biofiltración: 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: 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.
- Reducción biológica: el consumo de nutrientes por parte de las plantas reduciendo la carga contaminante (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 consumido 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.

7. CONCLUSIONES

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

Los SUDS, en el caso de contar con un buen planeamiento, diseño, construcción y mantenimiento, constituyen una serie de técnicas adecuadas para mitigar gran parte de los impactos negativos que la escorrentía urbana provoca en el medio ambiente, al aportar múltiples beneficios entre los que cabe destacar:

- 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 redundará en una reducción del coste de tratamiento respecto de los sistemas convencionales, habiéndose constatado ahorros entre el 18 y el 50%. Además existen datos que evidencian un ahorro en costes de construcción junto con la revalorización de las urbanizaciones.

En España es necesario un esfuerzo de los técnicos en la materia, acompañado de una labor de divulgación bajo las premisas de la educación ambiental para comenzar a beneficiarse de manera generalizada de las múltiples ventajas de los SUDS.

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.

9. 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 nº 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. U.K. 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. V Jornadas Españolas de Puertos y Costas:1061-1073.
- (6) Temprano J.; Suárez J. y Tejero 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. Mº 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) Manuel 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.