

INTERCIENCIA

Revista de Ciencia y Tecnología de América

Interciencia

Asociación Interciencia

interciencia@ivic.ve

ISSN (Versión impresa): 0378-1844

VENEZUELA

2005

Daniel Castro Fresno / Joseba Rodríguez Bayón / Jorge Rodríguez Hernández /

Francisco Ballester Muñoz

SISTEMAS URBANOS DE DRENAJE SOSTENIBLE (SUDS)

Interciencia, mayo, año/vol. 30, número 005

Asociación Interciencia

Caracas, Venezuela

pp. 255-260

Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal


Universidad Autónoma del Estado de México


LA MEMORIA CIENTÍFICA EN LÍNEA
<http://redalyc.uaemex.mx>

SISTEMAS URBANOS DE DRENAJE SOSTENIBLE (SUDS)

DANIEL CASTRO FRESNO, JOSEBA RODRÍGUEZ BAYÓN,
JORGE RODRÍGUEZ HERNÁNDEZ y FRANCISCO BALLESTER MUÑOZ

Introducción a los SUDS

 Durante años la práctica habitual de drenaje urbano ha sido conducir el agua rápidamente fuera de la ciudad. Los cauces urbanos han sido canalizados y las alcantarillas diseñadas para recibir toda el agua de escorrentía superficial. Fruto de estas prácticas, los ríos han perdido su riqueza natural y su capacidad de respuesta ante las crecidas, mientras que los sistemas de alcantarillado se ven incapaces de absorber la cantidad de agua adicional procedente de las zonas de nuevo desarrollo urbano (Gómez *et al.*, 2004).

Respecto a la calidad del agua, es claro que nadie quiere beber los desperdicios de su vecino de arriba, por lo que se construyen depuradoras. Pero el agua de lluvia que lava las calles y forma la escorrentía superficial también daña seriamente el medioambiente, constituyendo la contaminación difusa (Butler y Davies, 2000).

Frente a estos problemas surge el drenaje urbano sostenible, con la intención de proteger y mejorar la calidad

del agua, evitar las inundaciones, y permitir la recarga de los acuíferos y el desarrollo urbano de calidad en zonas donde el sistema de alcantarillado existente está a punto de saturarse (EPA, 1999).

Todo esto se consigue haciendo frente a la escorrentía desde el momento que la lluvia toca el suelo. La gestión de las aguas pluviales se fundamenta en tres pilares: la laminación de la cantidad de agua, la mejora de su calidad mediante procesos naturales, y el servicio al ciudadano con la mejora del paisaje urbano y la recuperación de hábitat naturales dentro de las ciudades (Fernández *et al.*, 2003).

El desarrollo urbano sostenible o desarrollo de bajo impacto (*Low Impact Development*) engloba un conjunto de técnicas específicas referidas al drenaje urbano conocidas como SUDS (*Sustainable Urban Drainage Systems*) en el Reino Unido, BMPs (*Best Management Practices*) en Estados Unidos o Mejores Prácticas de Control (MPC) en los países hispano parlantes (Jiménez, 1999).

En este artículo se hace un breve repaso de las medidas preventi-

vas y los principales sistemas estructurales, comentando después el método de planificación y selección para obtener la combinación de sistemas más adecuada en cada caso. Cabe mencionar que el desarrollo de bajo impacto lo completan prácticas de planeamiento urbanístico más amplias que consideran desde un primer momento la problemática asociada al drenaje urbano (EPA, 1999).

Descripción de los SUDS

Son numerosos los criterios de clasificación que se pueden emplear para catalogar los distintos Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (Jiménez, 1999), por lo que en este apartado se ha optado por comentar de manera individual los principales sistemas sin entrar en disquisiciones sobre las clasificaciones.

Medidas preventivas

La principal regla de buena práctica en el drenaje urbano sostenible es reducir la escorrentía superficial minimizando las superficies imper-

PALABRAS CLAVE / BMPs / Desarrollo sostenible / Drenaje urbano / SUDS /

Recibido: 15/11/2004. Modificado: 31/03/2005. Aceptado: 04/04/2005.

Daniel Castro Fresno. **Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos, y Doctor, Universidad de Cantabria, España. Profesor, Universidad de Cantabria. Dirección: Grupo de Investigación de Tecnología de la Construcción (GITECO). E.T.S.I. Caminos, Canales y Puertos, Universidad de Cantabria. Avda. de los Castros s/n. 39005 Santander, Cantabria, España. e-mail: daniel.castro@unican.es**

Joseba Rodríguez Bayón. **Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos, Universidad de Cantabria, España. Estudiante de Doctorado, Universidad de Cantabria, España. e-mail: joseba.rodriguez@unican.es**

Jorge Rodríguez Hernández. **Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos, Universidad de Cantabria, España. Estudiante de Doctorado, Universidad de Cantabria, España. e-mail: jorge.rodriguez@unican.es.**

Francisco Ballester Muñoz. **Doctor Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos, Universidad de Cantabria, España. Catedrático de Ingeniería de la Construcción, Universidad de Cantabria, España. e-mail: francisco.ballester@unican.es**

meables de la ciudad y dividiendo las cuencas vertientes para evitar la concentración de grandes volúmenes de agua en un punto. Con este objetivo se debe procurar drenar hacia zonas verdes, parques y espacios abiertos. También es recomendable recoger en lo posible las aguas pluviales y reutilizarlas para el riego o el lavado de calles, obteniendo de este modo un doble beneficio al disminuir la cantidad de escorrentía superficial y al mismo tiempo ahorrar un consumo de agua potable (MINVU-DICTUC, 1996).

La educación y la concienciación de los ciudadanos en el tema de la limpieza de la ciudad son de suma importancia a la hora de reducir la carga contaminante de la escorrentía. Desde las autoridades municipales, con un correcto plan de limpieza de calles, hasta las escuelas y los hogares, con campañas sobre la utilización de las papeleras y contenedores, la sociedad completa debe implicarse en la solución de un problema que es de todos (Jiménez, 1999).

Superficies permeables

Se entiende por superficie permeable un pavimento construido por el hombre que permite el paso del agua. Estos sistemas están constituidos por un volumen de material permeable situado bajo una superficie que permite el paso del agua pudiendo tratarse de: césped, césped reforzado, grava, pavimento de bloques impermeables con huecos rellenos de césped o grava, pavimento de bloques impermeables con ranuras sin relleno alguno (Figura 1), pavimento de bloques porosos, o pavimentos continuos de cualquier tipo de mezcla porosa (CIRIA C523, 2001).

El agua atraviesa la superficie permeable, que actúa a modo de filtro, hasta la capa inferior que sirve de reserva, de manera que se atenúan las puntas del flujo. Esta reserva puede ser transportada a otro lugar o infiltrada, si el terreno lo permite. El exceso de agua se controla mediante un desagüe superior o un drenaje superficial diseñado a tal efecto (Pratt *et al.*, 2002).

En cualquier caso todas las capas del firme deben tener permeabilidades crecientes, desde la superficie hasta la sub-base, incluyendo geotex-



Figura 1. Aparcamientos de pavimento permeable de adoquines (SEPA, 2001).



Figura 2. Zanja de infiltración (SEPA, 2001).

tiles, con la intención de que el agua fluya y no se quede retenida en su interior. La misión de los geotextiles en este tipo de pavimentos es primordial actuando como filtro, separación o como refuerzo estructural (Pratt, 2003).

Las distintas capas permeables retienen partículas de diversos tamaños, aceites y grasas. Los hidrocarburos retenidos pueden llegar a ser biodegradados con el paso del tiempo. Las investigaciones actuales que se están llevando a cabo en las Universidades de Coventry (Coupe *et al.*, 2003) y de Cantabria (Proyecto FIDICA), están dirigidas a aumentar la eficacia en biodegradación de hidrocarburos dentro de este tipo de pavimentos.

Estas técnicas están siendo actualmente utilizadas en aparcamientos de vehículos ligeros, accesos a zonas residenciales, caminos y patios en América Latina, Europa o Estados Unidos, destacando las instalaciones piloto en Chile (Fernández *et al.*, 2003) y Brasil (Acioli *et al.*, 2004).

En España no existen normas ni manuales sobre la aplicación de este tipo de superficies, siendo las empresas que comercializan estos sistemas, como por ejemplo la australiana Atlantis, las encargadas de ofrecer orientación y guía sobre su diseño y ejecución. En este sentido, la Universidad de Cantabria está desarrollando un manual guía en español para la construcción de superficies per-

meables (Proyecto FIDICA) semejante a los existentes en otros países como Chile (MINVU-DICTUC, 1996) o el Reino Unido (Pratt *et al.*, 2002), ampliando además el conocimiento sobre estas estructuras de firme y su ámbito de aplicación.

Entre las ventajas de estos pavimentos está la sencillez de ejecución, dado que no es necesaria la nivelación de la superficie para el drenaje ni la colocación de sumideros ni alcantarillas (National SUDS Working Group, 2003).

Sin embargo, la conservación para asegurar el correcto funcionamiento implica mantener la superficie limpia y libre de sedimentos, mediante un barrido con aspiración cuya frecuencia depende de los aportes recibidos. Además, no debe emplearse sal ni gravilla para luchar contra la formación del hielo. Todo ello para evitar el problema de col-

matación que está siendo estudiado para mejorar el rendimiento de estos pavimentos (Davies *et al.*, 2002).

Pozos y zanjas de infiltración

Pozos y zanjas de infiltración son perforaciones y trincheras rellenas de material granular que sirven para recoger y almacenar el agua de escorrentía hasta que se produce la infiltración de la misma al terreno natural. Las zanjas son más estrechas y menos profundas (Figura 2) que los pozos, siendo más eficientes desde el punto de vista constructivo (National SUDS Working Group, 2003).

En la etapa de diseño debe tenerse en cuenta el tipo de terreno sobre el que se está trabajando, su tasa de infiltración debe ser adecuada y el nivel freático no debe verse afectado por la excavación. Además, no se pueden construir estos sistemas demasiado cerca de un edificio o una carretera para no afectar las cimentaciones (CIRIA C523, 2001).

Se suelen emplear geotextiles de filtro y separación para envolver el material granular, y desagües de emergencia para, en el caso que se supere la capacidad de depósito de diseño, poder enviar el sobrante a la red de alcantarillado. También se dispone una tubería permeable en la base que recoge el agua, lo que implica la construcción de pozos de

registro para los cambios de dirección y la limpieza de la zanja (MINVU-DICTUC, 1996).

Tanto la vida útil, como el nivel de depuración obtenido, dependen de un correcto diseño que puede incluir un sistema de pretratamiento a la entrada (EPA, 1999).

Depósitos de infiltración

Los depósitos de infiltración son embalses superficiales poco profundos donde se almacena el agua hasta que se produce su infiltración (Figura 3). Al igual que las zanjas de infiltración, se suelen construir con un desagüe de emergencia para en caso que se supere la capacidad de almacenamiento, enviar el agua al siguiente sistema de la cadena de tratamiento (Jiménez, 1999).

Su forma es irregular con bases anchas y taludes laterales suaves cubiertos de vegetación. Los desagües inferiores deben ser capaces de desaguar en todo momento. Los depósitos de infiltración pueden recoger el agua de una cuenca mayor que los pozos y las zanjas de infiltración, dado que también permiten en caso necesario, el almacenamiento temporal por encima de la superficie del terreno en forma de lámina de agua (CIRIA C523, 2001).

El rendimiento de estos sistemas se puede mejorar del mismo modo que en el caso de las zanjas de infiltración, es decir, colocando un sistema de pretratamiento que disminuya la entrada de sólidos en suspensión en el sistema, reduciendo así el riesgo de colmatación de la zona de infiltración (EPA, 1999).

Drenes filtrantes o drenes franceses

Los drenes filtrantes son zanjas recubiertas de geotextil y rellenas de grava (Figura 4), dentro de las cuales circula el agua que proviene directamente de las superficies de drenaje o de una tubería de aportación (National SUDS Working Group, 2003).

El tiempo de estancia del agua en el dren debe ser suficientemente alto y la velocidad del agua suficientemente lenta para que exista infiltración a través



Figura 3. Depósito de infiltración (SEPA, 2001).



Figura 4. Dren filtrante (SEPA, 2001).



Figura 5. Cuneta verde (SEPA, 2001).

del geotextil. De este modo, en algunos drenes no es necesario dirigir el agua hasta el punto de vertido, pues al cabo de una cierta longitud se ha infiltrado totalmente.

Es conveniente vegetar la superficie del dren o asfaltarla con mezcla drenante en zonas de carretera donde es posible el paso de tráfico (MINVU-DICTUC, 1996).

Los drenes filtrantes, como todos los SUDS, se pueden combinar con otros sistemas. Así, en carreteras se puede colocar junto a la calzada una franja filtrante con un dren filtrante de recogida, o una cuneta verde con un dren filtrante en su base, de forma que aumente su capacidad, ofreciendo una mayor

atenuación de la escorrentía (EPA, 1999).

Cunetas verdes

Las cunetas verdes son canales vegetados con hierba (Figura 5), que conducen el agua de escorrentía desde las superficies de drenaje a un sistema de almacenaje o a una conexión con el alcantarillado existente. Estos canales vegetados suelen situarse en los márgenes que quedan en los bordes de las calzadas por lo que pueden llamarse cunetas verdes (MINVU-DICTUC, 1996).

En comparación con los sistemas convencionales de drenaje de carreteras, las cunetas verdes son más anchas y, además de transportar el agua, proporcionan un almacenamiento temporal que permite la filtración, infiltración, evaporación y evapotranspiración (National SUDS Working Group, 2003).

Las cunetas verdes trabajan mejor con gradientes pequeños, tanto de las pendientes transversales como de las pendientes longitudinales. Para evitar la erosión y facilitar la filtración y la sedimentación se dimensionan para velocidades bajas. Si lo que se quiere es fomentar la retención, se pueden construir pequeñas presas de tierra que aseguren un tiempo de retención mayor, ayudando a laminar las puntas en el flujo. En zonas de protección de aguas subterráneas incluso se pueden sellar en su zona inferior, de manera que el canal vegetado mantenga

todas sus ventajas evitando la infiltración (CIRIA C523, 2001).

Franjas filtrantes

La franja filtrante es una sección de tierra vegetada con cierta inclinación, diseñada para recibir la escorrentía superficial y facilitar su filtración. Su principal misión es filtrar una lámina de escorrentía atrapando sólidos y aceites (MINVU-DICTUC, 1996).

Las pendientes deben ser poco pronunciadas y los anchos a atravesar por el agua lo mayores posibles. Las franjas de filtración pueden albergar cualquier forma de vegetación natural, desde un prado hasta

un pequeño bosque. Mientras el césped ofrece una superficie más tupida, los arbustos y árboles permiten mayor evapotranspiración y otorgan un valor medioambiental extra a la zona. En cualquier caso, a mayor anchura de franja y densidad de vegetación se obtiene mayor capacidad filtrante y grado de depuración (CIRIA C523, 2001).

Estos sistemas se utilizan aguas arriba del final del sistema de drenaje o recibiendo escorrentía de cuencas pequeñas. La escorrentía procedente de las carreteras también se puede tratar con estos métodos teniendo especial cuidado en que no se bloquee el paso de la carretera a la franja filtrante. Además, las franjas filtrantes pueden ser utilizadas como pretratamiento para eliminar el exceso de sólidos y contaminantes antes de otros sistemas como cunetas verdes (National SUDS Working Group, 2003).

Depósitos de detención

Los depósitos de detención son depresiones diseñadas para frenar durante unas horas la escorrentía de las tormentas y permitir la sedimentación de los sólidos en suspensión (Figura 6). Su misión es la de laminar grandes avenidas, reduciendo los picos en el caudal y limitando los riesgos de inundación (EPA, 1999).

En el diseño de los depósitos de detención se puede incluir un desvío o *by-pass* de manera que, una vez recibida la escorrentía del primer lavado, la más contaminada, el resto pase al siguiente sistema de la cadena de drenaje.

Estos depósitos cuentan con un desagüe en su parte inferior, que puede llegar a colmatarse por la acumulación de sedimentos si no se diseñan adecuadamente tanto la entrada como la salida del depósito. Este diseño puede incluir una compartimentación, un serpenteo de la corriente, o la colocación de disipadores de energía, que permitan maximizar el rendimiento y prevenir erosiones y tiempos de retención insuficientes. También es conveniente colocar un sistema de pretratamiento para eliminar parte de los sólidos de suspensión, que puede ser una franja filtrante o un simple sistema de decantación, constituido por un pozo relleno de material granular (National SUDS Working Group, 2003).

Las pendientes laterales deben ser tendidas por seguridad para permitir la salida en caso de caída al agua, así como el acceso y mantenimien-



Figura 6. Zona de detención. Los laterales pueden servir de ejemplo de franjas filtrantes (SEPA, 2001).

to cuando el depósito esté vacío. Según la zona y la profundidad del depósito puede ser conveniente colocar vallas de seguridad (MINVU-DICTUC, 1996).

Estanques de retención

Los estanques de retención son depresiones del terreno que contienen un cierto volumen de agua en todo momento. Este volumen de agua constante oculta bancos de sedimentos antiestéticos e incrementa el rendimiento en la eliminación de nutrientes, metales pesados, coliformes y materia orgánica (Jiménez, 1999).

La capacidad para la que se diseña el estanque debe ser superior al volumen a tratar de manera que, incluso en tiempo de lluvias, se asegure un tiempo de estancia del agua en el estanque suficiente para que se produzca la degradación biológica de los contaminantes. La diferencia respecto a los depósitos de detención es que en los estanques existe una lámina de agua de manera permanente, con un reborde vegetado que permite recibir los volúmenes adicionales.

Para evitar los circuitos cortos del agua, se aconseja colocar islotes, u otros dispositivos, que alarguen el recorrido del agua (CIRIA C523, 2001).

Un estanque puede ser alimentado por una cuneta verde, una red de drenes filtrantes o un sistema de drenaje superficial convencional. En este último caso, los picos de entrada resultan mayores, de forma que el área requerida para el estanque es mayor. Por tanto, estos estanques deben permitir una amplia variación del nivel del agua (National SUDS Working Group, 2003).

Humedales

Los humedales son superficies amplias de agua construidas artificialmente, con poca profundidad y vegetación propia de pantanos y zonas hú-

medas. Este sistema proporciona un mayor grado de filtración y eliminación de nutrientes gracias a la acción de la vegetación, ocupando una menor extensión que otros sistemas (EPA, 1999).

Dada la importancia que tiene la revegetación de los humedales, debe realizarse en lo posible con especies vegetales nativas para maximizar su rendimiento y su longevidad. Del mismo modo es importante asegurar un flujo base, incluso durante los periodos de sequía.

Los humedales pueden tener asociado un plan de vigilancia ambiental redactado por expertos que salvaguarde la vegetación y la fauna que albergan. Es fundamental destacar que en ningún caso los humedales naturales deben recibir aportaciones procedentes de escorrentía urbana, sólo los humedales artificiales están preparados para esta tarea (CIRIA C523, 2001).

Planificación y selección de los SUDS

Una vez conocidas las características individuales de los principales sistemas de drenaje sostenible, se pasa a comentar cómo deben ser combinados.

La planificación y selección de los sistemas urbanos de drenaje sostenible requieren voluntad para cambiar las cosas e interés en la integración medioambiental de los sistemas de drenaje empleados. El criterio de diseño debe equilibrar las componentes relacionadas con la cantidad de agua, su calidad y el servicio ofrecido. Así, deben tenerse claras desde el inicio un conjunto de características exigibles (CIRIA C523, 2001).

La selección de los SUDS no es sencilla, se trata de un proceso multidisciplinar en el que hay que tener en cuenta factores tradicionalmente relegados a un segundo plano como la calidad paisajística, el entorno arquitectónico o los usos urbanos (National SUDS Working Group, 2003).

Datos iniciales.

El estudio del sistema original de drenaje, el modelo natural anterior a cualquier desarrollo urbano del emplazamiento, es el mejor comienzo para abordar el problema. Deben conocerse las cuencas y subcuencas existentes dentro de la superficie de actuación: áreas de aportación, zonas de posible aplicación para los distintos métodos

como vaguadas, cauces de estiaje y las variaciones topográficas asociadas al planeamiento previsto para la zona (MINVU-DICTUC, 1996).

También, como para la planificación de los sistemas de drenaje convencionales, es necesario conocer el régimen de precipitaciones con su intensidad y frecuencia, así como el coeficiente de escorrentía previo al desarrollo, la capacidad de campo, el tiempo de concentración y otros parámetros que caracterizan el drenaje de la zona (Gómez *et al.*, 2004).

Es importante fijar los puntos donde se van a producir las descargas del sistema de drenaje que se va a diseñar. Deben ser múltiples para repartir así el impacto, y deben estar controlados para conocer la contaminación difusa real (ASCE/EPA, 2002).

También es fundamental conocer sobre qué suelo se está trabajando: su coeficiente de infiltración, su comportamiento saturado, su capacidad para desarrollar vegetación, la posición del nivel freático y el nivel de calidad de aguas subterráneas exigido. No se puede plantear un sistema de infiltración sobre un suelo impermeable.

Respecto al planeamiento, se deben conocer los usos lo más detallados posibles de las superficies en las que se divida el emplazamiento, la localización de locales, aparcamientos, calles y zonas verdes. No es lo mismo el nivel de contaminación de una escorrentía de una zona puramente residencial, que el arrastrado en una zona de uso industrial.

Otros condicionantes son la flora y fauna, la calidad paisajística y los usos comunitarios de la zona (CIRIA C523, 2001).

Método de selección

El drenaje sostenible se concibe como un tren o una cadena. Como tal, debe cumplir unos objetivos globales a partir de los resultados parciales correspondientes a cada eslabón o sistema de drenaje individual. Para llegar a una solución final el proceso es cíclico de prueba error, encadenando distintos SUDS hasta ajustarse a los diferentes condicionantes impuestos. Las características finales exigidas constituyen el criterio de diseño (EPA, 1999).

El primer paso de toda solución es la prevención. Siempre se deben poner en marcha las medidas preventivas y comprobar si son suficientes para cumplir el criterio de diseño.

El segundo paso, a dar si no se ha cumplido el criterio, es la implementación de sistemas de control en

origen como pueden ser superficies permeables, pozos y zanjas de infiltración.

Si con estas actuaciones se siguen sin cumplir las condiciones exigidas, habrá que considerar la utilización de sistemas sostenibles que lleven el agua de un punto a otro, como franjas filtrantes o cunetas verdes.

Si aún así no se cumplen los objetivos de cantidad y calidad del agua, o los de servicio del conjunto, se deben utilizar depósitos, estanques o humedales, en sus numerosas variantes, bien al final de la cadena o bien intercalados entre los sistemas intermedios.

Una vez hecha la selección, debe existir un proceso de ajuste en el cuál se repasa la conveniencia de cada eslabón de la cadena y la posibilidad de agrupar distintas etapas, sustituir o incluso eliminar alguna de ellas manteniendo el nivel de satisfacción obtenido. Todo el proceso debe ser realizado por un equipo multidisciplinar (CIRIA C523, 2001).

Consideraciones sobre la cantidad de agua

Uno de los principales objetivos del tren de drenaje sostenible es no afectar negativamente al medio receptor. Para ello, y en relación con la cantidad de agua, lo ideal sería mantener el hidrograma natural, previo a cualquier desarrollo de la zona, tanto el caudal de aportación base, como el tiempo de concentración, e incluso mejorarlo si este provocaba problemas de inundaciones (Fernández *et al.*, 2003).

Es importante tener en consideración la interacción entre las diversas partes de la cadena de drenaje resultante, considerando también las correspondientes al drenaje convencional: tuberías, colectores, tanques de tormenta o rebosaderos (Gómez *et al.*, 2004).

Consideraciones sobre la calidad del agua

En los sistemas de drenaje urbano convencionales la calidad del agua de escorrentía no se ha tenido en cuenta durante mucho tiempo. En cambio, para los sistemas urbanos de drenaje sostenible es uno de los tres objetivos básicos junto a la cantidad y el servicio prestado (MINVU-DICTUC, 1996).

Conociendo el uso de la zona urbana a drenar y la sensibilidad del medio receptor, se obtienen las condiciones de calidad exigibles que forman parte del criterio de diseño. La depuración requerida puede ser dispensada por un solo sistema, o por la combinación de varios. Todo ello, considerando un determinado

volumen de tratamiento que se usa para el diseño de las partes de la cadena de drenaje dedicadas a mejorar la calidad del agua. El potencial de depuración ofrecido por estos sistemas crece día a día gracias a la investigación, pudiendo hacer frente con éxito incluso a la contaminación por hidrocarburos (Coupe *et al.*, 2003).

Cada sistema pone en funcionamiento los mecanismos naturales de sedimentación, filtración, absorción, adsorción y degradación biológica en mayor o menor medida, logrando eficiencias distintas que ajustadas en conjunto ofrecen una calidad de agua final.

Las estimaciones sobre la calidad del agua que se obtiene al final de la cadena de tratamiento son fundamentales para conocer el impacto que puede provocar la descarga en el medio receptor. Estos cálculos se realizan a partir de los rendimientos observados en los SUDS ya construidos y monitorizados convenientemente (ASCE/EPA, 2002).

Consideraciones sobre el servicio del sistema

El tercer pilar sobre el que se sustenta el drenaje urbano sostenible es el servicio ofrecido por estos sistemas. La economía del agua, la mejora paisajística y la conservación de la flora y fauna de la zona son algunos de estos servicios.

Los sistemas de drenaje sostenible permiten el almacenamiento del agua de lluvia para su posterior reutilización, o incluso recargar las reservas de agua subterráneas mediante la infiltración en las zonas donde el terreno y la profundidad del nivel freático lo permita (Jiménez, 1999).

Por otra parte, la calidad paisajística que ofrecen estos sistemas es de un nivel muy alto. Una población con sistemas de drenaje sostenible puede pasear junto a un arroyo tranquilo en vez de una cuneta de hormigón, puede ver desde su casa una laguna llena de vida en vez de un solar inundado. Estos sistemas permiten convertir toda la ciudad en un parque, ofreciendo un refugio a la flora y fauna autóctonas, y evitando así su desaparición del medio urbano (CIRIA C523, 2001).

Conclusiones

Los métodos tradicionales de drenaje urbano presentan problemas y carencias que pueden solucionarse mediante el uso de métodos de drenaje sostenible. Esto supone hacer un esfuerzo, no en concentrar las aguas pluviales

lo antes posible, sino en hacer frente a la escorrentía en pequeñas cuencas que permitan el tratamiento completo desde su origen.

El empleo de estos sistemas se está generalizando en todo el mundo. Una vez resueltos los problemas básicos de drenaje urbano y depuración de aguas, el siguiente paso es optimizar este drenaje mediante el empleo de SUDS o BMPs.

Hoy en día, gracias a la investigación y monitorización de estos sistemas en distintos países se están mejorando su funcionamiento, demostrando su gran utilidad.

SUDS o BMPs, además de mejorar el control de la cantidad y la calidad de la escorrentía superficial, ofrecen un servicio a la comunidad: economía, paisaje y naturaleza.

Cualquier tipo de pavimento es susceptible de convertirse en una superficie permeable, las cunetas pueden ser de césped en vez de hormigón, los jardines pueden tener su estanque y cualquier franja de tierra se puede convertir en una franja filtrante. Tan sólo se necesita voluntad para obrar el cambio.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen la colaboración del equipo de John W. Davies y Alan P. Newman de la Universidad de Coventry por su apoyo y consejo. La realización del proyecto de investiga-

ción "Desarrollo de nuevas estructuras de firmes filtrantes biodegradantes de hidrocarburos (FIDICA)" en la Universidad Cantabria es apoyada por la financiación del Ministerio de Ciencia y Tecnología con fondos del PGE (Presupuesto General del Estado) y del FEDER (Fondo Europeo de Desarrollo Regional), proyecto REN2003-05278/TECNO.

REFERENCIAS

- Acioli LA, Agra SG, Goldenfum JA, Silveira A (2004) Experimental study of permeable reservoir pavements for surface runoff control at source in a subtropical region. NOVATECH'2004. *Sustainable Techniques and Strategies in Urban Water Management*. 5th International Conference. Graie. Francia. pp. 771-778.
- ASCE/EPA (2002) *Urban Stormwater BMP Performance Monitoring. A Guidance Manual for Meeting the National Stormwater BMP Database Requirements*. Prepared by GeoSyntec Consultants, Urban Drainage and Flood Control District and Urban Water Resources Research Council (UWRRC) of ASCE and Office of Water, US EPA, Washington DC, EEUU. EPA-821-B-02-001. 216 pp.
- Butler D, Davies JW (2000) *Urban Drainage*. Spon. Londres RU. 489 pp.
- CIRIA C523 (2001) *Sustainable urban drainage systems, best practice manual for England, Scotland, Wales and Northern Ireland*. Construction Industry Research and Information Association. Londres, RU. 131 pp.
- Coupe SJ, Smith HG, Newman AP, Puehmeier T (2003) Biodegradation and microbial diversity within permeable pavements. *Eur. J. Protistol.* 39: 495-498
- Davies JW, Pratt CJ, Scott MA (2002) Laboratory study of permeable pavement systems to support hydraulic modelling. *Proc. 9th Int. Conf. on Urban Drainage* (9ICUD). Portland, OR, EEUU. (Formato CD).
- EPA (1999) *Preliminary Data Summary of Urban Storm Water Best Management Practices*. Office of Water, United States Environmental Protection Agency. Washington DC, EEUU. EPA-821-R-99-012. 210 pp.
- Fernández B, Rivera P, Montt JP (2003) Uso de Pavimentos Permeables. *BIT, Revista Técnica de Construcción* 33: 54-56.
- Gómez M, Sánchez H, Dolz J, López R, Nania L, Cabrera E, Espert V, García-Serra J, Malgrat P, Puertas J (2004) *Curso de Hidrología Urbana*. 5^a ed. Universitat Politècnica de Catalunya, España. 389 pp.
- Jiménez BR (1999) *Contaminación por escorrentía urbana*. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos; Colección SEINOR No. 22. Madrid, España. 495 pp.
- MINVU-DICTUC (1996) *Técnicas alternativas para soluciones de aguas lluvias en sectores urbanos. Guía de diseño*. Dirección de Investigaciones Científicas y Tecnológicas. Ministerio de Vivienda y Urbanismo. Santiago, Chile. 670 pp.
- National SUDS Working Group (2003) *Framework for Sustainable Drainage Systems (SUDS) in England and Wales*. TH-5/03-3k-C-BHEY. 75 pp.
- Pratt CJ (2003) Application of geosynthetics in sustainable drainage systems. *1st Int. Geosynthetics Society*. Loughborough, RU. pp. 121-135.
- Pratt CJ, Wilson S, Cooper P (2002) *Source control using constructed pervious surfaces. Hydraulic, structural and water quality performance issues*. CIRIA. Londres, RU. C582, RP637. 152 pp.
- SEPA (2001) *Sustainable Urban Drainage Systems: an Introduction*. Environment and Heritage Service. Scottish Environment Agency. Reino Unido. 21 pp.