

# Curriculum Vitae

**Nombre:** Joseba

**Apellidos:** Rodriguez Bayon

## Titulaciones o estudios:

- Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Universidad de Cantabria. (2002).
- Certificado-Diploma de Estudios Avanzados (DEA). Universidad de Cantabria. (2005).
- Doctor por la Universidad de Cantabria. Escuela Técnica Superior de Caminos, Canales y Puertos de Santander. Universidad de Cantabria. (2008).
- Doctor Europeo por la Universidad de Cantabria. (2008).

## Estancias realizadas en el extranjero:

- Business, Environment and Society University of Coventry en el Reino Unido en distintos periodos durante el 2003 y el 2008 como consecuencia del desarrollo de la tesis doctoral, la cual se realizaba en colaboración con la Universidad de Coventry dentro del programa de doctorado Europeo.

## Trayectoria profesional como Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos:

- Responsable de proyectos y dirección de obra (obra civil e infraestructuras) en el Departamento de Proyectos y Obras del **AYUNTAMIENTO DE DONOSTIA – SAN SEBASTIÁN** Agosto 2008 Actualidad.
- Profesor en el Master/Postgrado de Construcción Sostenible y Eficiencia Energética de la **UPV**. Desde el 2009.
- Profesor asociado de la Universidad de Cantabria en el Departamento de Transportes, Tecnología de Proyectos y Procesos en el área de construcción. **UNIVERSIDAD DE CANTABRIA** Marzo 2009 septiembre 2010.
- Responsable de la unidad técnica especializada en Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS). Realización tesis doctoral e investigación en otros proyectos. **UNIVERSIDAD DE CANTABRIA** Noviembre 2003 Julio 2008
- Ingeniero en redacción de proyectos de ingeniería y direcciones de obra en el **ESTUDIO URGARI S.L. en San Sebastián**. 2003

## Publicaciones:

- ***“Temperature performance of different pervious pavements: Rainwater harvesting for energy recovery purposes”***. Water Resources Management. 2013.
- ***“Monitoring and evaluation of the thermal behaviour of permeable pavements for energy recovery purposes in an experimental parking lot: Preliminary results”***. ASCE Journal. 2013.
- ***“Design and construction of an experimental pervious paved parking area to harvest reusable rainwater”***. Water Science & Technology (IWA Journal). 2011.
- ***“Analysis and contrast of different pervious pavements for management of storm-water in a parking area in northern Spain”***. Water Resources Management (Springer Netherlands). 2010.

- **“Monitoring and evaluation of thermal behaviour of permeable pavements under the northern Spain climate”**. 7th Congreso Internacional de Novatech. 2010.
- **“Design and construction of an experimental pervious paved parking area to harvest reusable rainwater”**. 7th Congreso Internacional de Novatech. 2010.
- **“Performance of pervious pavement parking bays storing rainwater in the north of Spain”**. Water Science & Technology (IWA Journal). 2010.
- **“Pavimentos Asfálticos Sostenibles. VIII Congreso Nacional de Firmes”**. 2010.
- **“APARCAMIENTO EXPERIMENTAL DE FIRMES PERMEABLES EN PARQUE DE LA VAGUADA DE LA LLAMAS EN SANTANDER”**. VIII Congreso Nacional de Firmes. 2010.
- **“REVIEW OF SEASONAL HEAT STORAGE IN LARGE BASINS: WATER TANKS AND GRAVEL-WATER PITS”**. Applied Energy. 2010.
- **“Efficiency of MPN method to indicate hydrocarbon biodegradation processes within permeable pavements”**. 11th International Conference on Urban Drainage. 2008.
- **“Influence of the geotextile on water retention in pervious pavements”**. 11th International Conference on Urban Drainage. 2008.
- **“Design process of a new concrete block for permeable pavements. Laboratory test studies”**. 8th International Conference on Concrete Block Paving. Sustainable Paving for Our Future. 2006.
- **“Construcción De Pavimentos Permeables Para El Control En Origen De La Escorrentía Urbana: Ejemplo Práctico Del Aparcamiento Del Palacio De Deportes De La Guía.”** III CONGRESO DE INGENIERÍA CIVIL, TERRITORIO Y MEDIO AMBIENTE “Agua, Biodiversidad e Ingeniería”. 2006.
- **“Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible”**. XXXIII Congreso Nacional de Parques y Jardines Públicos (PARJAP 2006)
- **“Pervious pavement research in Spain: Hydrocarbon degrading microorganisms”**. 10th International Conference on Urban Drainage. 2005.
- **“Pervious pavement research in Spain”**. Proceedings of the Third National Conference on Sustainable Drainage. 2005.
- **“Biological aspects of porous pavement in Spain”**. First National SUDSnet Student Conference. 2005.
- **“Sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS)”**. Interciencia. 2005.
- **“Sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS)”**. Presentación del proyecto de investigación “Desarrollo de nuevas estructuras de firmes filtrantes biodegradantes de hidrocarburos (FIDICA) VII Congreso Nacional del Medio Ambiente. 2004.

#### **Participación en Proyectos de I+D financiados en Convocatorias públicas.**

- Título del proyecto: **“Desarrollo de nuevas estructuras de firmes biodegradantes de hidrocarburos (FIDICA)”**. [REN2003-05278 / TECNO]. 197.500 € (2003).
- Título del proyecto: **“Desarrollo de nuevos sistemas de captación, pretratamiento y tratamiento in situ, de aguas contaminadas con hidrocarburos procedentes de la escorrentía urbana en aparcamientos con firmes impermeables (TRAPI)”**. [CTM2006-00310/TECNO]. 242.000 € (2005).
- Título del proyecto: CENIT 2006: **“Investigación en nuevos conceptos de carreteras más seguras y sostenibles (FENIX)”**. 1.342.700 €. (2007).

### Participación en contratos de I+D de especial relevancia con Empresas y/o Administraciones.

- Título del proyecto: "**Investigación, desarrollo e innovación de adoquines para pavimentos permeables**". (2005).
- Título del contrato/proyecto: "**Desarrollo e innovación en el refuerzo de mezclas bituminosas con geosintéticos**". (2006-2007).
- Título del contrato/proyecto: "**Diseño, investigación de la ejecución e instrumentación de un aparcamiento construido con firmes filtrantes biodegradantes de hidrocarburos**". (2006-2007).
- 
- Título del contrato/proyecto: "**Surveillance of level and quality of the stormwater collected through permeable pavements with concrete blocks**". (2006-2010).

### Participación como director de Tesis Doctorales:

- Tesis Doctoral "**Estudio de un Aparcamiento de Firmes Permeables Filtrantes para la Mejora de la Gestión Sostenible de las Aguas Urbanas Mediante el Almacenamiento y Valorización del Agua de Lluvia**". Autora: Elena Gomez-Ullate Fuente. Año Diciembre 2010.
- Tesis Doctoral "**Estudio del Comportamiento Térmico en el Interior de Firmes Filtrantes con Almacenamiento de Agua en la Subbase para su Aprovechamiento Energético**". Autora: Amaya Vega Novo. En proceso de realización.

### Patentes.

- Adoquín Para Pavimento.
- Sistema de Captación de Energía Solar Irradiada sobre un Pavimento y Acumulación de Energía en Agua de Lluvia.

## **SISTEMAS URBANOS DE DRENAJE SOSTENIBLE. SUDS**

Joseba Rodriguez Bayon (Ingeniero de Caminos, Investigador del GITECO).

Jorge Rodriguez Hernández (Ingeniero de Caminos, Investigador del GITECO).

Elena Gómez-Ullate Fuente (Licenciada en Biología, Investigadora del GITECO).

Daniel Castro Fresno (Doctor Ingeniero de Caminos, Profesor Titular de Construcción).

GITECO (Grupo de Investigación de Tecnología de la Construcción)

Escuela de Caminos, Canales y Puertos de Santander.

Universidad de Cantabria.

### **RESUMEN**

Los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) se encuentran dentro de las nuevas estrategias empleadas para mejorar el funcionamiento y desarrollo urbano sostenible de las ciudades. El crecimiento urbanístico desaforado ha generado un aumento de las superficies impermeables en el entorno de las urbes, lo cual genera y acrecienta los problemas relacionados con el drenaje y la gestión del agua pluvial.

Se plantean tres aspectos relacionados con esta problemática: cantidad, calidad y servicio.

1. Cantidad: el aumento de las superficies impermeables en el entorno de las ciudades hace que la cantidad de agua de escorrentía aumente y sea un problema para las infraestructuras que se dimensionan sin tener en cuenta los desarrollos futuros.
2. Calidad: las aguas pluviales van perdiendo calidad a medida que avanzan en su camino a través de las infraestructuras de drenaje y saneamiento convencional, mezclándose con las aguas negras y generando la necesidad de tratamiento en depuradora. Así, la naturaleza y el régimen de frecuencias totalmente diferenciado de las aguas de lluvia hacen que las depuradoras no puedan funcionar en su régimen óptimo.
3. Servicio: la disminución de superficies naturales y espacios abiertos en pro de nuevas zonas urbanas de edificación repercute directamente en la calidad del espacio urbano y en el servicio ofrecido por la ciudad a la sociedad afectando negativamente a la estética en el entorno.

## **INTRODUCCIÓN**

Una de las problemáticas existentes en la actualidad en el entorno de las ciudades, es la pérdida de superficie permeable como consecuencia de la urbanización que se realiza en las mismas. Esta urbanización conlleva la impermeabilización de zonas extensas que con anterioridad, y de forma natural, eran capaces de gestionar el agua de lluvia que recibían.

### *Inundaciones:*

Uno de los problemas, tal vez el más importante y visible, derivado de la impermeabilización de las zonas urbanas es la formación de inundaciones localizadas tras eventos de lluvia.

Estas inundaciones se producen por el criterio de diseño tradicional de evacuar el agua caída en las superficies impermeables de nuestras ciudades lo antes posible. Este criterio es, precisamente, el que hace que los sistemas convencionales de gestión de las aguas pluviales fallen, produciendo en aquellos puntos más bajos de la ciudad inundaciones de carácter local por la acumulación de una cantidad enorme de agua en un pequeño periodo de tiempo, agua que no es capaz de gestionar el dispositivo de drenaje dispuesto, ya sea por tener un diseño inferior al requerido para el volumen acumulado, o por la falta de mantenimiento, lo cual hace que su funcionamiento no sea el correcto.

El dimensionamiento de las infraestructuras de drenaje siempre se podría adecuar a un volumen mayor, pero el coste crecería de forma progresiva y el precio de la obra acabaría por ser inabordable.

En cuanto a la falta de mantenimiento, esta debe ser evitada por parte de las autoridades competentes dedicando el dinero necesario para esta tarea, todos los años. Dinero para llevar a cabo tanto las labores de mantenimiento propiamente dichas, como campañas de concienciación de la ciudadanía que sirvan de medidas preventivas.

#### Contaminación difusa:

Otra de las consecuencias que sufre el medio como fruto de la impermeabilización de los entornos urbanos, es la pérdida de calidad de las aguas de lluvia y su vertido, muchas veces descontrolado y deslocalizado, que genera la conocida como contaminación difusa.

Así, se va perdiendo calidad en las aguas a medida que se va recorriendo el camino descrito por los sistemas de drenaje tradicional, esto hace que un agua casi limpia de lluvia se convierta en un agua contaminada a depurar. Por tanto, se genera la necesidad del paso del agua de lluvia por la depuradora antes de su vertido al medio receptor, sometiendo al sistema de saneamiento al régimen no uniforme de las precipitaciones, lo cual resulta muy desfavorable para el diseño y correcto funcionamiento de las depuradoras.

### Desnaturalización:

Con la creciente presión urbanística, es cada vez más escasa la masa verde que se puede encontrar dentro de las ciudades y en su entorno; es decir, cada vez es más habitual encontrar un número de zonas verdes naturales menor y las que hay son artificiales y prácticamente impermeables, por lo que se tiende a una desnaturalización completa del área urbana.

Esta desnaturalización e impermeabilización de las superficies hace que el ciclo natural del agua se vea alterado de una forma muy importante, convirtiendo a las ciudades en zonas cuasi-desérticas. Se pierde riqueza visual, se impide la recarga de acuíferos, que sirven de reserva de agua para el consumo humano, y se genera el efecto isla de calor, que hace que las temperaturas en verano se incrementen en el interior de la ciudad, efectos que suponen un contra-servicio para los ciudadanos.

Todos estos inconvenientes repercuten a nivel medioambiental, económico y social, por lo que es necesario tomar medidas innovadoras para paliar los problemas asociados a la gestión del agua de lluvia en las ciudades.

Es por ello que, en los tiempos que corren, es tan importante urbanizar como que esa urbanización sea sostenible, equilibrando los aspectos cuantitativos, cualitativos y de servicio.

Tomando como base el triángulo de la sostenibilidad, concepto adoptado en la cumbre de Río de 1992 como consecuencia del trabajo realizado por la Comisión Mundial de Medio Ambiente y Desarrollo de Naciones Unidas, y plasmado en el documento llamado "Informe Brundtland (1987)", se plantea un nuevo enfoque en el diseño del drenaje urbano. El desarrollo sostenible tiene como fundamento el considerar para el desarrollo los aspectos económicos, sociales y medioambientales, de forma que los tres puedan coexistir simultáneamente. Al abrigo de este pensamiento, se plantea para el diseño de las ciudades desde el punto de vista del drenaje, el triángulo de la sostenibilidad en el drenaje urbano, consistente en considerar equilibradamente en el diseño los aspectos relacionados con la cantidad de agua, su calidad y el servicio que ofrece a la sociedad, tal y como se muestra (Figura 1):

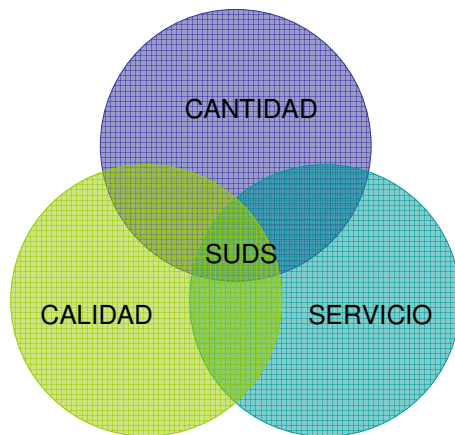


Figura 1: Triángulo de sostenibilidad en el drenaje urbano.

En este triángulo se hace hincapié en los tres aspectos más relevantes que deben tenerse en cuenta a la hora de diseñar un drenaje urbano sostenible. Por lo general, la tendencia habitual suele ser la concepción del sistema de drenaje convencional únicamente teniendo presente para su diseño el volumen o cantidad de agua. Es cierto que ajustando los diseños a este criterio, se pueden llegar a paliar los problemas de inundaciones. Pero, ¿qué sucede con la calidad de las aguas vertidas en periodos de lluvia y con el servicio que podrían prestar a la ciudadanía? No se tienen en cuenta para nada en el diseño actual, se dejan fuera del mismo para que otros sistemas u organismos se encarguen de ello; es decir, estos aspectos son tratados y gestionados de forma independiente al sistema de drenaje, e incrementando con ello los costes, tanto a nivel de infraestructuras como a nivel de gestión.

Como se puede observar, en el triángulo del desarrollo sostenible aplicado al drenaje urbano, la filosofía en la que se basan los diseños de los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS), intenta aunar los criterios de cantidad, calidad y servicio, para dar lugar a un conjunto de técnicas que puedan proporcionar una solución adecuada y duradera a los problemas planteados.



## **CICLO DEL AGUA DE LLUVIA**

Al igual que sucede en otros procedimientos productivos, el análisis integral de la problemática hace que se tenga una comprensión más clara del proceso completo, de forma que se puede optimizar llegando con ello a obtener el máximo rendimiento, aplicando en cada lugar la solución más adecuada para mejorar el conjunto total.

En el caso del agua de lluvia, lo que se ha de observar es el ciclo completo del agua para comprender el funcionamiento del mismo, y así, poder optimizar su funcionamiento para obtener los mejores resultados del tratamiento.

Si se contempla el ciclo natural del agua se ve que es un proceso sencillo y que está perfectamente optimizado en las zonas templadas del planeta. Parte del agua de precipitación es interceptada por la vegetación antes de que toque el suelo, el resto, satisface al terreno antes de producir escorrentía superficial y subsuperficial. Esta escorrentía tiene un tiempo de concentración que depende de la topografía y el tipo de superficie de la cuenca. Más tarde, el agua se concentra en ríos, lagos y humedales o se infiltra alimentando acuíferos naturales, todos ellos fuentes para el abastecimiento de agua a las ciudades. En todo el ciclo están presentes los procesos de evapotranspiración de las plantas y de evaporación necesarios para cerrar el ciclo.

Sin embargo, el ciclo urbano del agua es totalmente distinto. El agua, antes de llegar al suelo, purifica el aire recogiendo partículas contaminantes que arrastrará posteriormente. En la ciudad no hay una cúpula vegetal de intercepción, sino tejados impermeables; además, el suelo no tiene apenas permeabilidad por lo que el agua corre rápidamente por canalones y pavimentos, concentrándose en un corto periodo de tiempo en los sistemas de alcantarillado subterráneos. Por tanto, en las zonas urbanas no se produce apenas infiltración, con lo cual los acuíferos naturales situados bajo las ciudades quedan aislados. Así, el agua pluvial lava el aire, los tejados, los pavimentos y arrastra una carga contaminante importante de sólidos en suspensión, materia orgánica, metales pesados e hidrocarburos.

Se estima como media que en una zona natural, sin urbanizar, el porcentaje de agua que se gestiona de forma natural sin producir escorrentía, la cual se vierte a los cauces naturales, es de un 95% (Figura 2).

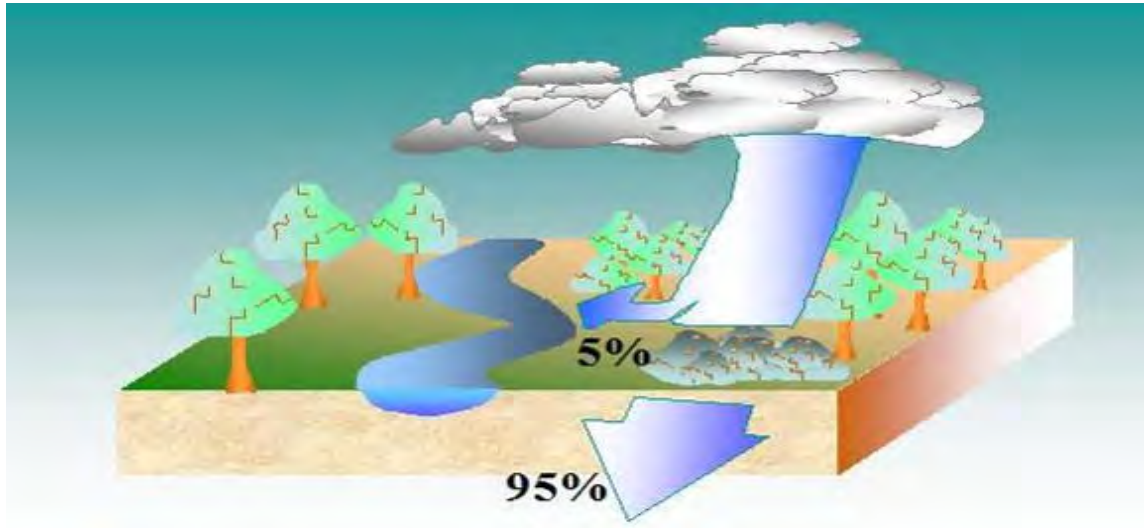


Figura 2: Reparto de escorrentía e infiltración en un entorno natural (Fuente: Coupe, S.)

En el caso de una zona urbanizada de baja densidad, como pueden ser entornos rurales y zonas residenciales fuera de los núcleos de las ciudades, el valor de infiltración decrece hasta un 30%, con lo que se genera una escorrentía del 70% (Figura 3).

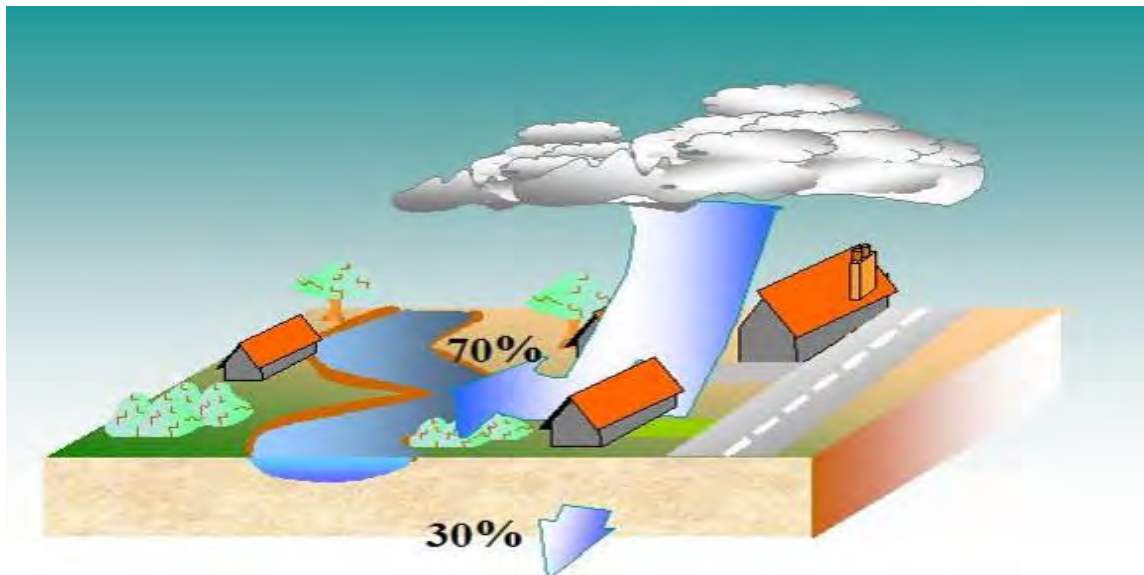


Figura 3: Reparto de escorrentía e infiltración en un entorno rural (Fuente: Coupe, S.)

Por último, en el caso de una zona urbana de alta densidad, como pueden ser las ciudades de una cierta envergadura, prácticamente el valor de infiltración es despreciable y se genera un 95% de escorrentía superficial que es necesario drenar y gestionar para poder obtener unas condiciones óptimas de habitabilidad (Figura 4).

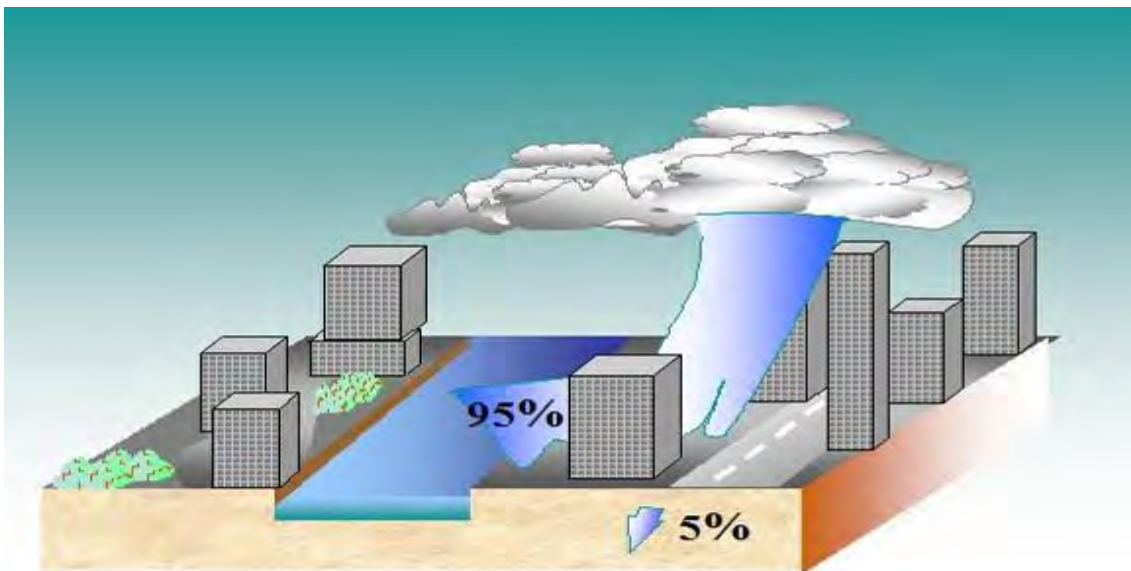


Figura 4: Reparto de escorrentía e infiltración en un entorno urbano (Fuente: Coupe, S.)

Debido a la creciente urbanización producida en nuestros entornos, es cada día más necesaria una adecuada gestión de esas ingentes cantidades de escorrentía superficial que se generan en nuestras ciudades.

#### Sistemas convencionales de drenaje:

El funcionamiento de los sistemas de drenaje urbano convencional, es de sobra conocido, ya que es el que de forma generalizada se aplica en todas nuestras ciudades para la gestión de las aguas pluviales y residuales. A pesar de ser conocido por todos este funcionamiento, los problemas que conllevan estos sistemas tradicionales como consecuencia de su utilización generalizada, no son reconocidos como evidentes y tienen una menor difusión.

El drenaje urbano actual presenta problemas que pueden ser clasificados en tres categorías: cantidad, calidad y servicio. Los problemas de cantidad son los más perceptibles por todos, ya que su incidencia es visible y notable en el momento en el que se producen; por ejemplo, las inundaciones localizadas. Por su parte los problemas derivados de la calidad de las aguas no son detectables a simple vista, y su perjuicio se manifiesta a medio o largo plazo por la pérdida de calidad medioambiental sufrida en los medios receptores, pudiendo alterar ecosistemas completos. Es cierto, que en la última década y motivado por la aplicación de la Directiva Marco del Agua, el esfuerzo realizado para el tratamiento de las aguas ha hecho que estos problemas se vean reducidos, aunque esto no haya significado la erradicación total del problema. Por último, el servicio dado a la ciudadanía se ve alterado por los dos problemas anteriormente mencionados, y que se manifiestan como un perjuicio en la prestación de servicios; es decir, afección al tráfico, daños materiales, pérdida de comodidad, desnaturalización del entorno, falta de estética, etc.

Los diseños para poder solucionar los problemas causados en el funcionamiento de los sistemas de drenaje convencional, en general, siempre han ido enfocados a los temas de cantidad y servicio, que son los que afectan en primera instancia de una manera más directa a los ciudadanos. Por tanto, el aspecto de la calidad siempre ha sido olvidado y despreciado, como consecuencia de obtener soluciones de tipo estructural para los dos anteriores. Las alternativas planteadas se han centrado en la construcción de grandes tanques de tormenta y aumento de los diámetros de diseño de las redes.

Estos sistemas son soluciones muy validas pero que solo aportan remedios parciales al problema global, por lo cual, el pensar que la construcción masiva de este tipo de sistemas podrá hacer frente al futuro crecimiento urbano y a la gestión del incremento en el volumen de las aguas de lluvia, es un error.

Es por ello, que se hace necesario un análisis más amplio del problema global, contemplando el ciclo del agua en todo su conjunto y teniendo en cuenta todos los aspectos asociados a la hora de planificar las soluciones que se deben adoptar para la gestión integral de las aguas de lluvia. Todo esto contribuirá a la generación de unos espacios urbanos, y por tanto ciudades, mucho más sostenibles a largo plazo.

### SUDS:

Los sistemas urbanos de drenaje sostenible son conocidos con numerosas denominaciones en los diferentes países donde son empleados, así se pueden encontrar las siglas:

- SUDS (Sustainable Urban Drainage Systems)
- BMPs (Best Management Practices)
- MPC (Mejores Prácticas de Control)
- BPAs (Buenas Prácticas Ambientales)
- TEDUS (Técnicas de Drenaje Urbano Sostenible)
- LID (Low Impact Development)
- WSUD (Water Sensitive Urban Design)
- Diseño Urbano Sensible al Agua.

Todos estos sistemas son una alternativa y un complemento al tratamiento convencional de las aguas pluviales en nuestras ciudades, y por tanto, son una solución en si mismos, además de una ayuda a los sistemas ya existentes.

Como consecuencia de la dispar denominación de estos sistemas, el Grupo de Investigación de Tecnología de la Construcción (GITECO) de la Universidad de Cantabria, decidió tomar como nombre para su designación “Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS)”, procedente de las mismas siglas empleadas en el Reino Unido “Sustainable Urban Drainage Systems (SUDS)”. Esta nomenclatura común facilita la búsqueda y el intercambio de información, dada la experiencia que sobre estos sistemas presentan los expertos británicos, y la extensa aplicación y conocimiento que se tiene de los mismos tanto en Escocia, como en Inglaterra.

Dentro de los SUDS existen múltiples clasificaciones, atendiendo a su forma de funcionar, al tipo de sistema empleado o al lugar de aplicación. Así, como resultado del estudio y recopilación de las distintas clasificaciones, el grupo de investigación GITECO, propone la siguiente clasificación para los SUDS:

- Medidas preventivas:
  - Legislación.
  - Educación.
  - Programación económica.
- Sistemas de infiltración o control en origen:
  - Superficies permeables
  - Pozos y zanjas de infiltración
  - Depósitos de infiltración
- Sistemas de transporte permeable
  - Drenes filtrantes o drenes franceses
  - Cunetas verdes
  - Franjas filtrantes
- Sistemas de tratamiento pasivo
  - Depósitos de detención
  - Estanques de retención
  - Humedales artificiales

Existen innumerables posibilidades y alternativas para gestionar el agua de lluvia, mediante combinaciones de estas cuatro categorías. A continuación se van a describir cada una de estas categorías de forma generalizada.

Medidas preventivas:

Se trata de cualquier consideración a nivel de planeamiento que evite que se produzcan los problemas asociados a la escorrentía superficial.

Dentro de las medidas preventivas se encuentran dos líneas de actuación diferenciadas en respuesta al aspecto que se quiera atender. Así, para dar solución a los problemas derivados de la cantidad, se

plantea la reducción de las superficies impermeables, la división de las cuencas urbanas para evitar concentrar grandes volúmenes y la recogida y reutilización del agua de lluvia. Por otro lado, atendiendo a los problemas derivados de la calidad de las aguas, se toman medidas como, la educación y concienciación de los ciudadanos, la limpieza urbana y el mantenimiento de las calles, y control de posibles focos riesgo de contaminación como son las gasolineras, talleres y zonas industriales.

*Sistemas de infiltración o control en origen:*

Son sistemas de recepción directa del agua de lluvia o de la escorrentía superficial en los que se permite la infiltración superficial. Se trata de sistemas que, además de poder estar conectados a otros, pueden por si mismos cerrar el ciclo del agua conectando la superficie con el sustrato permeable.

Dentro de estos sistemas se encuentran: firmes permeables, pozos de infiltración, zanjas de infiltración y depósitos de infiltración.

Se denomina firme permeable a cualquier sección construida por el hombre de manera que permita el paso vertical del agua a través suyo. Dentro de los firmes permeables se encuentran, por ejemplo, los aparcamientos permeables con distintos tipos de superficies capaces de permitir el paso del agua. También se presentan en aceras y caminos, tanto de vehículos como de personas. Tienen una importancia relevante atendiendo a los aspectos urbanísticos ya que, por ejemplo, en el caso de los aparcamientos de superficie de los centros comerciales, se trata de áreas de gran extensión cuyo impacto visual y funcional tiene gran repercusión en su diseño. Así, si el aparcamiento de una gran superficie sólo se emplea para aparcar vehículos, se está impermeabilizando una inmensa extensión de terreno, desaprovechando otros propósitos como puede ser el almacenamiento de agua bajo esas plazas de aparcamiento. Por tanto, además de su función convencional, los firmes permeables permiten incorporar al diseño urbano otras ventajas como el almacenamiento y reutilización de aguas pluviales, o la infiltración a los acuíferos naturales.



Figura 5: Firme filtrante con distintos tipos de pavimento (Parque de la Guía en Gijón, Asturias 2005)

Otros sistemas que se emplean para el control en origen de aguas pluviales son los pozos y zanjas de infiltración. Estos se definen como depósitos subterráneos que sirven para recoger y almacenar el agua de escorrentía hasta que se produce la infiltración de la misma al terreno natural. En este caso, estos sistemas se suelen situar en zonas verdes y cunetas, proporcionando un nuevo elemento de diseño para el urbanista que concibe la ciudad, pudiendo incorporar vegetación en la superficie de estos sistemas. Por tanto, ofrecen, además de la acción principal del control en origen de la escorrentía urbana, una faceta estética muy importante, sobre todo en el caso de las zanjas de infiltración.



Figura 6: Pozo y zanja de infiltración con superficie de grava (Fuente: CIRIA)

El último de los sistemas que puede ser utilizado para el control en origen es el depósito de infiltración, que consiste en zonas de embalse superficial donde se almacena el agua hasta que se produce su infiltración. Suelen ser habituales en zonas verdes deprimidas, como por ejemplo, en el centro de enlaces



y glorietas, cambiando la forma habitual convexa por una cóncava para permitir la retención del agua y su posterior infiltración. Esto hace que se puedan sustituir las habituales fuentes de las glorietas por pequeños estanques que permiten visualizar una cierta lámina de agua, al igual que en el caso de las fuentes, e infiltrar el agua para su valorización en acuíferos.



Figura 7: Depósito de infiltración (Fuente: Pavingexpert)

#### Sistemas de transporte:

Se trata de dispositivos cuya misión principal es la de transportar el agua pluvial hacia otros sistemas de tratamiento mayor o a los lugares de vertido correspondientes, aportando en su camino una serie de ventajas.

Entre los principales sistemas de transporte incluidos en los SUDS destacan: los drenes filtrantes, también conocidos como drenes franceses, las cunetas verdes y las franjas filtrantes. Se trata de sistemas de tipo lineal y que como tales se suelen ubicar en zonas laterales de caminos, siendo ellos mismos los puntos de recogida del agua de escorrentía urbana para su transporte al siguiente sistema de la cadena de gestión.

Los drenes filtrantes están constituidos por un volumen de relleno permeable que permiten la filtración del agua que lo atraviesa, permitiendo el transporte o almacenamiento temporal de la misma. Este sistema es muy similar a la zanja de infiltración, pero su misión en este caso no es la de infiltrar el agua, sino la de transportarla a otro sistema. Al igual que las zanjas, los drenes pueden contar con diferentes tipos de

superficie, según el acabado que se pretenda dar a la zona urbana, permitiendo obtener un aspecto estético agradable gracias a la continuidad que presenta.

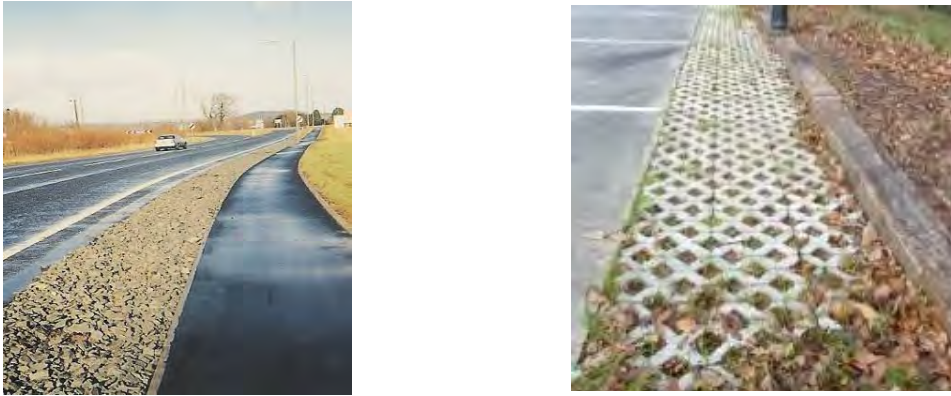


Figura 8: Dren filtrante o Dren Francés como drenaje lateral de calzada (Fuente: CIRIA)

Las cunetas verdes son canales naturalizados que permiten la recogida y transporte de las aguas de lluvia. Sus acabados superficiales son también variados, desde cantos rodados hasta vegetación de ribera, pasando por el césped. Debido a la ocupación superficial que requiere su implantación, no suelen ser empleados en entornos urbanos muy consolidados y con escasez de espacio disponible. Sin embargo, son muy apropiados para zonas residenciales y de travesía debido a su alto valor estético, dando a la zona un aspecto más natural y generando un entorno más amable para el disfrute residencial.



Figura 9: Cuneta verde como drenaje lateral de calzada (Dundee, Escocia 2007)

Las franjas filtrantes comprenden un área vegetada con capacidad de tratar la escorrentía superficial mediante procesos físicos, químicos y biológicos a consecuencia del flujo del agua a través de la

vegetación. Derivan de las prácticas de depuración aplicadas en las zonas agrícolas. Debido a su amplitud y ocupación no son muy indicadas para zonas con baja disponibilidad de espacio, lo cual las hace aptas para entornos de nuevo desarrollo. Su disposición suele ser habitual en los márgenes de las calzadas como trayecto de entrada a una cuneta verde, que es la que se encarga del transporte lineal del agua hacia otro dispositivo de tratamiento.



Figura 10: Franja filtrante conectando con cuneta verde (Dundee, Escocia 2007)

#### Sistemas de tratamiento pasivo:

Se consideran sistemas de tratamiento pasivo a aquellos situados al final de la red para prolongar la estancia de las aguas pluviales por un periodo de tiempo, antes de su vertido al medio receptor, que permita proporcionar el tratamiento adecuado a las mismas.

Así, dentro de este último grupo de sistemas de tratamiento se engloban: los depósitos de detención, los estanques de retención y los humedales artificiales. Al ser sistemas de final de línea de la cadena de tratamiento necesitan una amplia ocupación de espacio para poder realizar los tratamientos correspondientes. Por ello se localizan en parques y bosques, posibilitando de esta manera la generación de paisajes urbanos verdaderamente naturalizados por la presencia del agua y la vegetación.

Los depósitos de detención son áreas de depresión vegetadas que sirven para el almacenamiento del agua procedente de la escorrentía urbana. Su misión principal es la de proporcionar una laminación de las puntas de caudal para posteriormente tratar el volumen captado de la manera más conveniente. Este

sistema sería lo más parecido a un tanque de tormenta como los utilizados en los sistemas de drenaje convencional, pero con un diseño paisajístico asociado que permita aprovechar las condiciones naturales del terreno con unos pocos retoques. Los depósitos de detención permiten mejorar la calidad del agua a través, fundamentalmente, de la retención de sedimentos.



Figura 11: Depósito de detención (Fuente: Universidad de Abertay, Dundee, Escocia)

Los estanques de retención son zonas de almacenamiento del agua de lluvia con una lámina de agua permanente y presencia de vegetación, tanto acuática como enraizada. Son similares a los depósitos de detención en el caso de que estos tuviesen una lámina permanente de agua, pero presentan un mayor nivel de vegetación. Los estanques proporcionan un tratamiento completo para las aguas de escorrentía urbana, incluso tratamiento de tipo biológico, procurando degradación de contaminantes y fijación de metales pesados. Sin embargo, tienen alguna limitación en cuanto al volumen a tratar.



Figura 12: Estanque de retención (Dundee, Escocia 2007)



Por último, los humedales artificiales se definen como un área de tierra cubierta de vegetación que puede estar ocasional o permanentemente llena de agua con distintas profundidades. Los humedales, tanto los naturales como artificiales, son hábitat de una gran diversidad de plantas y animales. Comprenden estanques y lagos poco profundos en combinación con zonas pantanosas cubiertas, casi en su totalidad, por vegetación acuática. Este último sistema es la alternativa natural a las depuradoras artificiales encargadas actualmente del tratamiento de las aguas de lluvia.



Figura 13: Humedal artificial (Fuente: CIRIA)

A la vista de los sistemas que se pueden emplear para la gestión de las aguas pluviales en el entorno urbano, es necesario dar un toque de atención a todas las personas implicadas en los procesos de planificación, diseño, construcción y gestión del drenaje urbano para cambiar la mentalidad con respecto al tratamiento de las aguas de lluvia.

Es precisamente en la fase de planeamiento donde el urbanismo tiene una labor fundamental a la hora de proyectar desde un inicio la adecuada gestión de la escorrentía superficial, evitando cargar de forma excesiva el dimensionamiento de las líneas de drenaje convencional.

Los objetivos primordiales que persiguen los sistemas de drenaje urbano sostenible se centran en procurar mantener el ciclo natural del entorno tal y como estaba antes del crecimiento urbano en la zona, de forma que el fin último buscado no es el crear una superficie más permeable que la que existía en sus orígenes, sino igualar lo existente, evitando costes excesivos de implantación de estos sistemas. Además, la gestión sostenible del agua permite otros valores añadidos como son la recarga de acuíferos

y recuperación de espacios naturales para uso y disfrute de la ciudadanía, merced a un diseño paisajístico de alta calidad.

## **CONCLUSIONES**

A modo de conclusión, y como resultado de la investigación y experiencia adquirida durante los últimos cuatro años por parte del grupo de investigación GITECO de la universidad de Cantabria, se presentan las siguientes ideas y perspectivas de futuro:

- Los SUDS se presentan como un elemento integrador ciudad-naturaleza muy importante que ha de ser considerado como una herramienta más a la disposición de los encargados del diseño urbano.
- Con la implantación de SUDS se da solución a los problemas ocasionados por las aguas pluviales relativos a la cantidad; disminuyendo el riesgo de inundaciones localizadas gracias a la laminación ofrecida por estos sistemas, controlando la punta del caudal y aumentando el tiempo de concentración correspondiente.
- Los SUDS proporcionan beneficios adicionales a los ofrecidos por los sistemas de drenaje convencional, como el tratamiento natural de las aguas pluviales, obteniendo unas calidades aptas para su vertido directo a los medios receptores, sin necesidad de pasar por las depuradoras y evitando la contaminación difusa de los medios naturales.
- Con el uso de SUDS se revaloriza el entorno urbano como consecuencia de la posibilidad de recuperar zonas de frágil equilibrio, como son las que tienen un déficit en recursos hídricos por la sobreexplotación que sufren, mediante la valorización de las aguas de lluvia en la recuperación de acuíferos y humedales en vías de desaparición.
- Además, todo lo anteriormente dicho repercute de forma positiva apreciable en los costes económicos de construcción, gestión y mantenimiento del drenaje urbano, aspecto que habría de ser tomado en consideración por todos los participantes en el diseño urbano para una pausada reflexión.

- Los SUDS no implican la eliminación de los sistemas de drenaje tradicionales, pueden ser un complemento y nunca una competencia para estos sistemas.
- Es fundamental establecer la diferenciación entre tratamiento cuantitativo y cualitativo de las aguas, y asignar costes y beneficios en cada caso para obtener una visión integral de la mejor solución posible.
- Un buen funcionamiento requiere un buen mantenimiento, al igual que sucede con todos los sistemas de drenaje convencional.
- Los SUDS son sistemas que funcionan en cadena, por esta razón, es necesario integrar el diseño urbano en su globalidad para dar una respuesta correcta a todo el conjunto.

En cuanto a las perspectivas de futuro:

- En la actualidad las discusiones son protagonizadas por los distintos responsables encargados de asumir los costes tanto de construcción como de mantenimiento de estos sistemas, vetando su aplicación por falta de reflexión y análisis de los costes reales del ciclo completo de gestión del agua de lluvia.
- Las técnicas para evaluación del comportamiento y la investigación para la mejora de los diferentes procesos que operan en los SUDS están en continua evolución en todo el mundo.
- El modelado de los SUDS está cada vez más presente, con lo que se pueden diseñar de una forma más cómoda y efectiva.
- En España se comienza a hablar de prácticas sostenibles, pero la concienciación real que lleva a la aplicación práctica no es fácil de lograr.
- Los SUDS reclaman su espacio urbano y no pueden quedar al margen del nuevo desarrollo de las ciudades.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradecer al Ministerio de Educación y Ciencia la concesión del proyecto de investigación, correspondiente al plan nacional (2006-2009) “DESARROLLO DE NUEVOS SISTEMAS DE CAPTACION, PRETRATAMIENTO Y TRATAMIENTO IN SITU DE AGUAS CONTAMINADAS CON HIDROCARBUROS PROCEDENTES DE LA ESCORRENTIA URBANA EN APARCAMIENTOS CON FIRMES IMPERMEABLES (TRAPI)”, con referencia CTM2006-00310/TECNO. Gracias además, por todos los proyectos anteriormente concedidos, como el correspondiente al plan nacional (2003-2006) “Desarrollo de nuevas estructuras de firmes filtrantes biodegradantes de hidrocarburos (FIDICA)” con referencia REN2003-05278/TECNO. Sin el desarrollo de los mismos, no hubiera sido posible el estudio y comprensión de los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible, SUDS.

Gracias también a las empresas y entidades que han colaborado de una manera activa como, Bloques Montserrat SL, DL Ingeniería, Horiba Spain, Fibertex Geotextiles, TMA Terratest Medio Ambiente, Naue Fasertechnik y Drenajes, Geotextiles Danosa, Contratas Iglesias, SIEC, Ayuntamiento de Santander, Aqualia y Clabsa. Gracias en especial al Grupo de Ingeniería Ambiental GIA de la Universidad de Cantabria y a la empresa británica Hanson-Formpave por su absoluta disposición.

También agradecer la inestimable colaboración del equipo investigador de la Universidad de Coventry, especialmente a los profesores John W. Davies, Alan P. Newman, Stephen J. Coupe y **¡Error! Referencia de hipervínculo no válida..** Además mencionar nuestro sincero agradecimiento a los profesores de la Universidad de Cantabria, José Luís Aja Setién, Juan Carlos Canteras Jordana, Xabier Moreno Ventas, Miguel Ángel Calzada Pérez, Ángel Vega Zamanillo y Elena Castillo López.

Un apartado especial de agradecimiento merecen los ayuntamientos de, Gijón con Jesús Morales Miravalles y Manuel Muñoz Vegas, Barcelona a través de BAGUR S.A. con Dolors Febles Domenech y Roberto Soto, y el de Donostia-San Sebastián con Alfonso Vázquez Altuna y Ángel Querejeta Iraola, por la confianza depositada en GITECO y las oportunidades brindadas para llevar a cabo aplicaciones reales de SUDS en dichas ciudades.



## **BIBLIOGRAFÍA**

**Aragüés, R. E.; Bambó, N. R. y Lorén, C. A. (2006)** *"Un parque fluvial para la ciudad."* III Congreso de Ingeniería Civil, Territorio y Medio Ambiente, Agua, Biodiversidad e Ingeniería (ICITEMA). Zaragoza, 25-27 octubre. ISBN: 84-380-0335-4.

**ASCE y 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 in cooperation with Office of Water (4303T) US Environmental Protection Agency, Washington, DC 20460, April 2002. EPA-821-B-02-001. 216 p.

**Balmforth, D.; Digman, C.; Kellagher, R. and Butler, D. (2006)** *"Designing for exceedance in urban drainage: good practice"*. CIRIA, London: CIRIA. Publication C635. ISBN: 0-86017-635-5.

**Bayon, Joseba R.; Castro Fresno, D. y Canteras Jordana, J. C (2005)** *"Biological aspects of porous pavement in Spain."* First National SUDSnet Student Conference. SUSnet. Coventry, England.

**Bayon, Joseba R.; Rodríguez Hernández, Jorge y Castro Fresno, Daniel (2005)** *"Pervious pavement research in Spain"* Proceedings of the Third Nacional Conference on Sustainable Drainage Coventry University, Coventry, England.

**Bayon, Joseba R.; Castro, D.; Moreno-Ventas, X.; Coupe, S.J. and. Newman, A.P (2005)** *"Pervious pavement research in Spain: Hydrocarbon degrading microorganisms"*; 10<sup>th</sup> International Conference on Urban Drainage, Copenhagen/Denmark.

**Butler, D.; Davies, J. W. (2000)** *"Urban Drainage"*, London and New York: E & FN Spon; ISBN 0-419-22340-1.

**CALTRANS. (2007)** *"Treatment BMP Technology Report."* Rep. No. Final, California Department of Transportation, Division of Environmental Analysis, Sacramento, California.

**Cano Amador, A. J. (1996)** *"Contaminación de la escorrentía superficial en un área metropolitana en un área metropolitana de la ciudad de Santander"*, Tesina de Master, dirigida por Tejero Monzón, J. I.; Santander: Departamento de Ciencias y Técnicas del Agua y del Medio Ambiente, Universidad de Cantabria.

**Castro Fresno, Daniel; Ballester Muñoz, Francisco; Rodríguez Hernández, Jorge y Bayon, Joseba R. (2004)** *“Sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS). Presentación del proyecto de investigación “Desarrollo de nuevas estructuras de firmes filtrantes biodegradantes de hidrocarburos (FIDICA)” VII Congreso Nacional del Medio Ambiente, Santander*

**Castro Fresno, Daniel; Rodríguez Hernández, Jorge; Bayón, Joseba R.; Ballester Muñoz, Francisco (2005)** *“Sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS)”* Revista Interciencia. Ref. ISBN / ISSN: 0378-1844. (SCI 2004 0,21), Vol. 30, N° 5 Página inicial: 255 final: 260 Mayo 2005. Venezuela.

**Castro Fresno, D.; Rodríguez Hernández, J. y Bayón, Joseba R. (2006).** *“Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible”*. XXXIII Congreso Nacional de Parques y Jardines Públicos (PARJAP 2006) Una nueva sociedad, un nuevo paisaje. Santander, Junio.

**Castro, D.; Bayón, Joseba R.; Rodríguez, J. and González-Angullo, N. (2006)** *“Design process of a new concrete block for permeable pavements. Laboratory test studies”* 8th International Conference on Concrete Block Paving. Sustainable Paving for Our Future. Interlocking Concrete Pavement Institute. San Francisco, California, EEUU.

**CIRIA C521 (2000)** *“Sustainable urban drainage systems, design manual for Scotland and Northern Ireland”*; Edición 2001, London: CIRIA; ISBN: 0 86017 521 9.

**CIRIA C522 (2000)** *“Sustainable urban drainage systems, design manual for England and Wales”*; Edición de 2001, London: CIRIA; CIRIA C522, Environment Agency report W230; ISBN: 0 86017 522 7

**CIRIA C523 (2001)** *“Sustainable urban drainage systems, best practice manual for England, Scotland, Wales and Northern Ireland”*; Edición de Noviembre 2001, London: CIRIA; CIRIA C523; ISBN: 0 86017 523 5.

**Coupe, S. J.; Smith, H. G., Newman, A. P.; Puehmeier, T. (2003)** *“Biodegradation and microbial diversity within permeable pavements”*; European Journal of Protistology, No. 39, pp. 495-498.

**Davies, J. W.; Pratt, C. J.; Scott, M. A. (2002)** *“Laboratory study of permeable pavement systems to support hydraulic modelling”*; Proceedings of the 9<sup>th</sup> International Conference on Urban Drainage (9ICUD).

**Francisco, G. (2004)** *“Diseño de nuevos materiales procedentes del reciclaje de escombros de construcción y demolición: RUE (residuos urbanos de edificación) y RAHA (residuos de aglomerados*

*hidráulicos y asfálticos*"); Tesis Doctoral dirigida por Ballester Muñoz, F.; Santander: Departamento de Transportes y Tecnología de Proyectos y Procesos, Universidad de Cantabria.

**Jiménez Gallardo, B. R. (1999)** *"Contaminación por escorrentía urbana"*; Madrid: Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos; Colección SEINOR No. 22; ISBN: 84-380-0157-2.

**Lasa, P.; Valle Álvarez, A.; Castillo López, E. (2004)** *"Nuevos enfoques y soluciones para la gestión sostenible del agua en las infraestructuras urbanas y viales"* II Congreso Internacional de Ingeniería Civil, Territorio y Medio Ambiente (ICITEMA), Santiago de Compostela, 22-24 de noviembre de 2004, V. II: 1037-1049.

**National SUDS Working Group (2003)** *"Framework for Sustainable Drainage Systems (SUDS) in England and Wales"* TH-5/03-3k-C-BHEY.

**Pratt, C. J.; Wilson, S.; Cooper, P. (2002)** *"Source control using constructed pervious surfaces. Hydraulic, structural and water quality performance issues"* London: CIRIA; CIRIA C582, RP637; 152 p.

**Pratt, C. J. (2003)** *"Sustainable Drainage. A review of published material on the performance of various SUDS components"*; The Environmental Agency, UK.

**Pratt CJ (2003)** *"Application of geosynthetics in sustainable drainage systems"* 1st International Geosynthetics Society, UK Chapter 'Geosynthetics: Protecting the Environment', Loughborough, 17 June.

**Puehmeier, T.; Coupe, S. J.; Newman, A. P.; Shuttleworth, A.; Pratt, C. J. (2004)** *"Recent developments in oil degrading pervious pavement systems-improving sustainability"* NOVATECH'2004, Sustainable Techniques and Strategies in Urban Water Management, 5 International Conference; Lyon: Graie; ISBN: 2-9509337-6-9, págs. 811-818.

**Rodríguez Hernández, J.; Castro Fresno, D.; Calzada Perez, Miguel A. and Davies, John W. (2005)** *"Pervious pavement research in Spain: Structural and Hydraulic issues"*; 10<sup>th</sup> International Conference on Urban Drainage, Copenhagen/Denmark.

**Rodríguez Hernández, J.; Bayon, Joseba. R.; Castro Fresno, D.; Calzada Pérez, Miguel A.; Canteras Jordana, J. C.; Ballester Muñoz, F.; Marañón Maisón, E.; Muñoz Vegas, M. y Lasa, P. (2006)** *"Construcción de pavimentos permeables para el control en origen de la escorrentía urbana: Ejemplo práctico del aparcamiento del palacio de deportes de la Guía"* III Congreso de Ingeniería Civil, Territorio y Medio Ambiente, Agua, Biodiversidad e Ingeniería (ICITEMA), Zaragoza.

**SEPA, Environment Agency, Environmental and Heritage Service (2001)** *"Sustainable urban drainage systems: an introduction"*; Catálogo informativo publicado por: Scottish Environment Agency (SEPA), Environment Agency, Environment and Heritage Service; Reino Unido.

**Scholz, M. and Grabowiecki, P. (2007)** *"Review of permeable pavement systems."* Building and Environment, 42(11), 3830-3836.

**Temprano, J.; Cervigni, M.; Suárez, J.; Tejero, J. I. (1996)** *"Contaminación en redes de alcantarillado urbano en tiempo de lluvia: control en origen"*; Revista de Obras públicas, N° 3352, Año 143, Marzo; Madrid; págs. 45-57