



La revista de los  
Ingenieros de Caminos,  
Canales y Puertos

**3607** MARZO 2019

REVISTA DE  
OBRAS PÚBLICAS

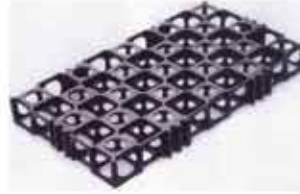
# R O P

MONOGRÁFICO

## Consolidando el drenaje sostenible en España

Coordinado por Sara Perales





## SISTEMAS URBANOS DRENAJE SOSTENIBLE S.L.

- Gestión Agua lluvia Urbana (GALLUR)
- Diseño y dimensionamiento redes de drenaje sostenible
- Integración SUDS proyectos regeneración Urbana
- Soluciones Basadas en la Naturaleza. Infraestructura Verde
- Alivio sistema saneamiento existente. Técnicas anti-inundación
- Fabricación y venta GEOCELDAS para la construcción de SUDS



HACE 20 AÑOS NOS LLAMABAN "VISIONARIOS" AHORA "EXPERTOS"



# PRESENTACIÓN

La gestión de aguas pluviales ha dado enormes pasos desde sus comienzos y es indudable que hoy tiene ante sí una oportunidad única para avanzar en sostenibilidad, resiliencia y generación de mejores condiciones de vida para los ciudadanos.

A ello vienen a contribuir los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS), mediante una diversidad de técnicas, naturalizadas en la medida de lo posible, que potencian la gestión de la escorrentía urbana en origen contribuyendo a la adaptación y mitigación al impacto del cambio climático, y a mejorar la eficiencia de los sistemas más tradicionales (grandes colectores, tanques de tormenta y EDARs), que en muchas ocasiones se vienen mostrando insuficientes en episodios de precipitaciones fuertes.

El interés por este enfoque que potencia las soluciones basadas en la naturaleza ha crecido exponencialmente en los últimos años, como se puso de manifiesto en la Jornada RedSUDS, celebrada en marzo de 2017 en Madrid, donde participaron más de 25 ponentes y 200 asistentes, procedentes de todos los niveles de la administración, el mundo empresarial, la industria, la universidad y los centros de investigación. En el debate se identificó la necesidad de un marco que regule la creación y gestión de SUDS y la cooperación entre administraciones; así como la importancia de divulgar y conocer el inventario de SUDS existentes en España.

En el último trimestre de 2017, en el proceso conducente a la adopción de un Pacto Nacional por el Agua, la Dirección General del Agua puso en marcha una ronda de reuniones para tener la oportunidad de conocer de primera mano las inquietudes, experiencia y expectativas de diversas entidades sobre la posible elaboración por parte del Ministerio de una Guía de Buenas Prácticas sobre drenaje urbano sostenible. En este proceso se realizaron cuatro reuniones de consulta y participación, con un total de 44 entidades participantes y 58 representantes. En todas las reuniones se mostró una clara aceptación e interés ante dicha Guía de Buenas Prácticas, a la vez que se plantearon otras necesidades, como la de aprender de las experiencias realizadas y la difusión de estos sistemas.

Este monográfico viene a responder a estas necesidades de recopilar las experiencias de SUDS existentes en España y de darles difusión, entendiéndose que la limitación del espacio obliga a realizar una selección de las mismas. El monográfico sigue la secuencia de contribuciones que se presenta a continuación.

Desde el Ministerio para la Transición Ecológica se destaca, en la Editorial, que el marco normativo existente se ha ido adaptando a la mejora del conocimiento existente, y que al Real Decreto 1290/2012, que ya exigía limitar la producción escorrentía, le han sucedido otros, como el Real Decreto 638/2016, que requiere la introducción de sistemas de drenaje sostenible en

las nuevas urbanizaciones, polígonos industriales y desarrollos urbanísticos en general. Concluye que la evolución en la gestión integrada del agua de lluvia, desde la óptica convencional del drenaje hacia una nueva estrategia basada en infraestructura verde, debe apoyarse en el rigor técnico y debe contar con el adecuado respaldo jurídico y normativo.

Tras el editorial, se presenta la experiencia del municipio de Benaguasil (Valencia), que fue galardonado en 2015 con el Premio Ciudad Sostenible a nivel nacional en gestión de agua gracias a su apuesta decidida y continuada por el drenaje sostenible, conjugando actividades de gobernanza con aplicaciones reales, actividades de investigación y, sobre todo, un gran esfuerzo en difusión.

A partir de este punto se abren cuatro bloques de contribuciones. El primero de ellos se dedica a la planificación, combinando un artículo conceptual presentado con la experiencia práctica de Vitoria-Gasteiz.

Le sigue un bloque más amplio, en el que se intercalan aspectos teóricos de diseño con ejemplos de interés. Así, se habla de la influencia de la precipitación en el diseño de SUDS, de la contaminación de las escorrentías pluviales y de los pavimentos permeables, a la vez que se presentan experiencias como la del Estadio Wanda Metropolitano, el Prologis Park Sant Boi, el supermercado LIDL de Galdakao (Bizkaia), una plataforma logística en Ribarroja del Turia (Valencia) y una serie de actuaciones realizadas en los municipios de Barcelona y Bétera (Valencia).

El tercer bloque se centra en los aspectos sociales y ambientales de los SUDS, presentando lecciones aprendidas y recomendaciones para involucrar a los diferentes actores, así como los casos de las zonas verdes de Valdebebas y la Atalayuela (ambos en Madrid).

A continuación, el monográfico aborda los aspectos de gestión, donde ayuntamientos y entidades municipales presentan los avances realizados hacia la normalización de los SUDS y su integración con otras ópticas y políticas urbanas en Madrid, Barcelona, Valencia y Sevilla.

Sigue un artículo dedicado a la incorporación de los SUDS en los planes de estudio universitarios, y, para concluir, los organizadores de la Jornada RedSUDS 2019 en la que se presenta este monográfico, enfatizamos que la implicación inteligente de todos los actores involucrados será la que haga posible la consolidación del cambio de paradigma en España. 📍

**Sara Perales Momparler**  
Coordinadora del monográfico.  
Consejera Delegada de Green Blue Management.  
Co-organizadora Jornadas RedSUDS 2017 y 2019.

# SUMARIO

## Monográfico

## CONSOLIDANDO EL DRENAJE SOSTENIBLE EN ESPAÑA

REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS Nº 3607  
MARZO 2019. AÑO 166. FUNDADA EN 1853

### Consejo de Administración

#### Presidente

Miguel Aguiló Alonso

#### Vocales

Juan A. Santamera  
José Polimón  
Vicent Esteban Chapapria  
Tomás Sancho  
José Javier Díez Roncero  
Francisco Martín Carrasco  
Benjamín Suárez  
José Luis Moura Berodía  
M<sup>a</sup> del Camino Blázquez Blanco

#### Comité Editorial

Pepa Cassinello Plaza  
Vicent Esteban Chapapria  
Jesús Gómez Hermoso  
Conchita Lucas Serrano  
Antonio Serrano Rodríguez

#### Edita

Colegio de Ingenieros de  
Caminos, Canales y Puertos  
Calle Almagro 42  
28010 - Madrid

#### Foto de portada

Urbanización de Can Cortada  
(Barcelona)

### La revista decana de la prensa española no diaria

#### Director

Antonio Papell

#### Redactora jefe

Paula Muñoz

#### Diseño

Julián Ortega

#### Maquetación y edición

Diana Prieto

#### Publicidad

Almagro, 42 - 4<sup>a</sup> Plta.  
28010 Madrid  
T. 913 081 988  
rop@ciccp.es

#### Imprime

Gráficas 82

#### Depósito legal

M-156-1958

#### ISSN

0034-8619

#### ISSN electrónico

1695-4408

#### ROP en internet

<http://ropdigital.ciccp.es>

#### Suscripciones

<http://ropdigital.ciccp.es/suscripcion.php>  
suscripcionesrop@ciccp.es  
T. 91 308 19 88

6 EDITORIAL

8 LLUVIA Y CIUDAD. ¿BAILAMOS?  
PEDRO P. PERIS Y SARA PERALES-MOMPARLER

14 SISTEMAS URBANOS DE DRENAJE SOSTENIBLE.  
UNA OPORTUNIDAD PARA LA PLANIFICACIÓN  
DE CIUDADES SENSIBLES AL AGUA  
M<sup>a</sup> ISABEL RODRÍGUEZ-ROJAS

21 PLANIFICACIÓN Y GESTIÓN DEL SISTEMA  
HIDROLÓGICO DE VITORIA-GASTEIZ EN  
CLAVE DE INFRAESTRUCTURA VERDE  
("INFRAESTRUCTURA AZUL")  
BLANCA MARAÑÓN

28 INFLUENCIA DE LA PRECIPITACIÓN EN EL  
DISEÑO DE SUDS  
ÁLVARO SORDO-WARD, IVÁN GABRIEL-MARTÍN,  
SARA PERALES-MOMPARLER Y LUIS GARROTE

32 PAVIMENTOS URBANOS PERMEABLES  
DANIEL JATO-ESPINO, VALERIO C. ANDRÉS-VALERÍ,  
JORGE RODRÍGUEZ-HERNÁNDEZ Y DANIEL CASTRO-  
FRESNO

38 SISTEMAS URBANOS DE DRENAJE SOSTENIBLE  
Y SUS USOS COMPLEMENTARIOS COMO  
GARANTES DE LA ACCESIBILIDAD UNIVERSAL  
EN LA URBANIZACIÓN DEL ESTADIO WANDA  
METROPOLITANO  
JUAN FISAC Y SARA PERALES MOMPALARER

42 PROLOGIS PARK SANT BOI. UNA DE LAS  
PRIMERAS GRANDES ACTUACIONES DE  
DRENAJE URBANO SOSTENIBLE EN ESPAÑA  
MIGUEL ÁNGEL GAGO LARA Y MANUEL GÓMEZ  
VALENTÍN

46 EVOLUCIÓN DE LOS SISTEMAS URBANOS DE  
DRENAJE SOSTENIBLE EN BARCELONA  
ROBERTO SOTO

53 ACTUACIONES DE MEJORA FRENTE A LA  
INUNDABILIDAD EN DOS ZONAS URBANAS  
MEDIANTE SISTEMAS DE DRENAJE SOSTENIBLE  
LUCÍA BELENGUER

58 CONTAMINACIÓN EN LAS ESCORRENTÍAS  
PLUVIALES DE AUTOPISTAS Y VIALES CON ALTA  
INTENSIDAD DE TRÁFICO  
JOAQUÍN SUÁREZ, VICENTE JIMÉNEZ, JOSÉ ANTA,  
ALFREDO JÁCOME, JERÓNIMO PUERTAS, MONTSERRAT  
RECAREY, ZURAB JIKIA E IGOR FERNÁNDEZ

- 64 **SISTEMAS SOTERRADOS PATENTADOS PARA LA GESTIÓN SOSTENIBLE DE LAS AGUAS DE ESCORRENTÍA EN EL SUPERMERCADO LIDL DE GALDAKAO**  
NIAL TYNAN
- 68 **GESTIÓN DE AGUAS PLUVIALES CON SUDS EN PLATAFORMAS LOGÍSTICAS**  
RAFAEL IBÁÑEZ, PEDRO MILLÁN, GONZALO VALLS Y GERARDO URIO
- 74 **PERCEPCIÓN SOCIAL DE LOS SUDS**  
ELENA CALCERRADA, PABLO VALLS, JESSICA CASTILLO-RODRÍGUEZ E IGNACIO ANDRÉS-DOMÉNECH
- 82 **EL VALOR SOCIAL Y AMBIENTAL DE LOS SUDS EN EL DISEÑO DE LAS ZONAS VERDES: EL CASO DE VALDEBEBAS**  
SUSANA CANOGAR
- 87 **REDUCCIÓN DE DESCARGAS DE SISTEMAS DE ALCANTARILLADO UNITARIO ADOPTANDO TÉCNICAS DE DRENAJE URBANO SOSTENIBLE**  
JUAN FISAC, MANUEL DE PAZOS, SOFÍA RODRÍGUEZ Y ENRIQUE MONTILLA
- 93 **EL AYUNTAMIENTO DE MADRID AVANZA HACIA LA NORMALIZACIÓN DE LA GESTIÓN DE AGUAS DE LLUVIA MEDIANTE SUDS EN ZONAS VERDES**  
SOLEDAD CHECA
- 99 **LA COMISIÓN DE SUDS DEL AYUNTAMIENTO DE BARCELONA COMO ENTE INTEGRADOR DE LAS DIFERENTES ÓPTICAS**  
IZASKUN MARTÍ, XAVIER VARELA, MARÍA JOSÉ CHESA, JORDI RODRÍGUEZ, JANA MIRÓ, ROBERTO SOTO Y GABINO CARBALLO
- 107 **POR UNA VALENCIA MÁS AZUL, MÁS VERDE**  
LAURA DE LA FUENTE GARCÍA
- 113 **MEJORA DE LA GESTIÓN DE LAS AGUAS PLUVIALES URBANAS EN LA EMPRESA METROPOLITANA DE ABASTECIMIENTO Y SANEAMIENTO DE AGUAS DE SEVILLA (EMASESA)**  
ÁNGEL MENA
- 120 **LOS SISTEMAS URBANOS DE DRENAJE SOSTENIBLE EN LAS ENSEÑANZAS DE GRADO Y POSTGRADO EN INGENIERÍA CIVIL**  
LUIS A. SAÑUDO, ZENAIDA A. HERNÁNDEZ, ÁNGEL MARTÍN Y FELIPE P. ÁLVAREZ
- 125 **SISTEMAS URBANOS DE DRENAJE SOSTENIBLE. Y AHORA, ¿QUÉ?**  
IGNACIO ANDRÉS-DOMÉNECH, SARA PERALES-MOMPARLER, JORGE RODRÍGUEZ-HERNÁNDEZ Y JOSÉ ANTA

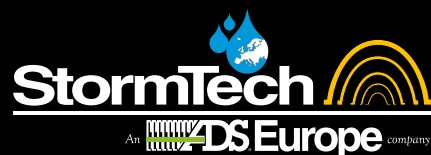
# SOLUCIONES SOTERRADAS PARA EL AGUA PLUVIAL

Laminación • Almacenamiento • Infiltración • Tratamiento

- Varios tamaños de bóvedas proveen versatilidad en el diseño.
- Construido y diseñado bajo los estándares más estrictos de la industria.
- Sistema patentado integrado en filas de aislamiento-tratamiento para eliminar sedimentos, accesibles y mantenibles.



www.drenatura.com  
info@drenatura.com  
Tel.946578476



Cleaning Water.  
Naturally

TenCate GeoClean®, el acuatextil que retiene y biodegrada naturalmente los hidrocarburos del agua de escorrentía a fin de infiltrar directamente el agua limpia al subsuelo

**¡Naturalmente!**

- 1 Limpia el agua al fijar los hidrocarburos
- 2 Infiltra el agua en toda la superficie
- 3 Biodegrada sistemáticamente los hidrocarburos retenidos
- 4 Capacidad de almacenamiento de aceite adicional en caso de vertido accidental y localizado

Creemos que es indispensable limpiar el agua de escorrentía de forma local y natural

# EDITORIAL

El cambio climático es sin lugar a dudas la principal amenaza para el desarrollo sostenible del planeta y, por tanto, el mayor reto ambiental, económico y social al que nos enfrentamos en siglo XXI. Por su geografía y sus características socio-económicas España es uno de los países europeos más vulnerables al cambio climático.

Es por eso que el cambio climático es un elemento fundamental que ha marcado nuestra política del agua de los últimos años puesto que si hay un ámbito donde los efectos del cambio climático son más severos y más evidentes ese es el campo de los recursos hídricos.

Los estudios disponibles indican que se está produciendo ya un incremento de las temperaturas que aumentan la evapotranspiración, lo que conjuntamente con una reducción de las precipitaciones medias se está produciendo una disminución de los recursos disponibles y a un aumento de la variabilidad climática que conllevará una alteración significativa de los patrones temporales y espaciales de lluvia que también puede conducir a un aumento del riesgo de inundaciones.

Por lo tanto, este desafío debe marcar el crecimiento de nuestras ciudades, que debe ser compatible con la consecución de los objetivos ambientales que nos marca la Directiva Marco del Agua y de prevención del riesgo de inundación que nos marca la Directiva de Inundaciones, siendo una de las estrategias a tener en cuenta la de disminuir el impacto que estas ciudades tienen sobre el ciclo hidrológico, optimizando el abastecimiento y consumo del agua, la depuración, reutilización y la devolución del agua al río en perfectas condiciones, todo ello con unos usos del suelo compatibles con el riesgo de inundación en el espacio fluvial y minimizando los efectos que produce la impermeabilización del suelo.

La impermeabilización del suelo en las ciudades es un condicionante en la gestión del agua de lluvia dentro de la ciudad, pudiendo también tener efectos significativos en los cauces aguas abajo de la misma, produciendo, en determinados casos, cambios morfológicos en el cauce y un incremento del riesgo de inundación aguas abajo.

El marco normativo existente se ha ido adaptando a la mejora del conocimiento existente, de forma que la modificación del Reglamento del Dominio Público Hidráulico aprobada en 2012 ya consideraba explícitamente el tratamiento de los desbordamientos de sistemas de saneamiento en tiempo de lluvia, y exigía limitar la producción de las primeras escorrentías para reducir las grandes concentraciones de contaminación durante estos episodios de lluvia.

Por su importancia, se destaca igualmente la modificación que realizó sobre el Reglamento del Dominio Público Hidráulico el Real Decreto 638/2016 de 9 de diciembre, que en su artículo 126 ter "Criterios de diseño y conservación para obras de protección, modificaciones en los cauces y obras de paso" requiere en su punto número 7 que las nuevas urbanizaciones, polígonos industriales y desarrollos urbanísticos en general, deberán introducir sistemas de drenaje sostenible, tales como superficies y acabados permeables, de forma que el eventual incremento del riesgo de inundación se mitigue. A tal efecto, el expediente del desarrollo urbanístico deberá incluir un estudio hidrológico-hidráulico que lo justifique.

Este mismo mensaje está recogido también en algunos planes hidrológicos de cuenca y en los planes de gestión del riesgo de inundación, que tienen como objetivo el fomento de este tipo de medidas como herramienta para mejorar la gestión de las aguas pluviales, en tanto que es una técnica de gestión que puede contribuir

a la prevención de la contaminación del medio hídrico en las ciudades y a reforzar la mejora de los sistemas de saneamiento y depuración. A título de ejemplo, en el caso de la Demarcación Hidrográfica del Cantábrico Occidental –y también del oriental–, su vigente plan hidrológico del segundo ciclo señala en su artículo 44 que: "Las nuevas urbanizaciones, polígonos industriales, desarrollos urbanísticos e infraestructuras lineales que puedan producir alteraciones en el drenaje de la cuenca o cuencas interceptadas deberán introducir sistemas de drenaje sostenible (uso de pavimentos permeables, tanques o dispositivos de tormenta, etc.) que garanticen que el eventual aumento de escorrentía respecto del valor correspondiente a la situación preexistente puede ser compensado, correctamente desaguado o es irrelevante".

Asimismo, en el marco de los planes de gestión del riesgo de inundación, se está finalizando la redacción de una guía técnica que refleje la importancia del drenaje urbano sostenible en la gestión del riesgo de inundación aguas abajo y que contribuya a fomentar este tipo de medidas.

Todo lo anterior refleja la necesidad de avanzar en la gestión integrada del agua de lluvia, que permita una evolución de la misma, desde la óptica convencional del drenaje hacia una nueva estrategia basada en infraestructura verde que produzca además una mejora de la calidad de vida de los ciudadanos, dando mayor protagonismo a la naturaleza dentro de nuestras ciudades. Esta evolución debe apoyarse en el rigor técnico y debe contar con el adecuado respaldo jurídico normativo. ☺

**Carlos Moreno Fernández**

Subdirector General de  
Gestión Integrada del Dominio  
Público Hidráulico.

Dirección General del Agua.  
Ministerio para la Transición Ecológica.

# Lluvia y ciudad

¿Bailamos?

## PEDRO P. Peris

Concejal delegado en  
Planificación del Territorio,  
Hacienda y Contratación,  
Ayuntamiento de Benaguasil  
(Valencia).



## SARA Perales- Momparler

Doctora Ingeniera de Caminos,  
Canales y Puertos.  
Consejera delegada de Green Blue  
Management

### RESUMEN

La armonía entre lluvia y ciudad se refleja en el bienestar de la sociedad y la naturaleza. Para el caso de Benaguasil, un municipio de 11.500 habitantes en la provincia de Valencia, el baile entre ambas comenzó hace más de 10 años al apostar por los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS), lo que le condujo a obtener, a nivel nacional, el Premio Ciudad Sostenible en la categoría de Gestión de Agua en 2015.

Este artículo recoge brevemente el camino recorrido por el municipio desde el año 2008, presentando su evolución con la participación como socio en los proyectos europeos AQUAVAL y E<sup>2</sup>STORMED, y demostrando que actualmente ya es práctica habitual que la gestión de aguas pluviales se integre en las actuaciones de regeneración del espacio urbano.

### PALABRAS CLAVE

Ciudad, lluvia, drenaje sostenible, Benaguasil

### ABSTRACT

*The harmony between rain and the city is reflected in the well-being of its inhabitants and nature. In the case of Benaguasil, a town with a population of 11,500 in the province of Valencia, this connection was enhanced over 10 years ago by the development of Sustainable Urban Drainage Systems (SUDS), which received a national Sustainable City Award in the category of Water Management in 2015.*

*This article provides an overview of the route followed by the municipality from 2008 and its ensuing participation as a member of the European AQUAVAL and E<sup>2</sup>STORMED projects, and underlines the now standard practice of incorporating stormwater management within all urban regeneration projects.*

### KEYWORDS

*City, Rain, Sustainable Drainage, Benaguasil*



# 1

## Introducción

ARMONÍA, dicese de equilibrio, proporción y correspondencia adecuada entre las diferentes cosas de un conjunto.

La CIUDAD y la LLUVIA son dos integrantes del entorno urbano que deben bailar en armonía. De este movimiento depende el bienestar de la sociedad que vive en la ciudad, pues cuando se rompe el equilibrio surgen las inundaciones o la contaminación de las masas de agua. Por ello, la integración de la gestión del agua en el devenir de la ciudad, desde las primeras fases de planeamiento, pero sin olvidar las actuaciones de regeneración urbana que frecuentemente se llevan a cabo en la trama urbana, es un reto que nuestras ciudades deben afrontar.

La respuesta de las soluciones que permitan la unión de CIUDAD y LLUVIA se encuentra en la naturaleza (European Commission, 2015; WWAP, 2018). Técnicamente, como resultado de esta búsqueda, se presentan los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) al ser capaces de restaurar en gran medida la capacidad natural de drenaje de las ciudades a la vez que las hacen más resilientes a los efectos del cambio climático. Asimismo, en este proceso se crean espacios incluyentes de biodiversidad y ciudadanía.

Esta metáfora del baile, que escenifica la acción conjunta de cómo gestionar (bailar con) el agua de lluvia en nuestro entorno urbano, representa el camino que Benaguasil inicia al conocer y experimentar con los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS), hace ya más de 10 años.

Los primeros pasos que llevan al Ayuntamiento de Benaguasil a comenzar este recorrido surgen de la iniciativa de técnicos y gestores entusiastas, firmes

valedores de que era posible una mejor gestión del agua de lluvia en entornos urbanos, que se unen en 2008 para formular una propuesta de proyecto a ser cofinanciado por la Unión Europea (convocatoria LIFE+2008). Estos actores, entre los que se encuentran los autores del presente artículo, condujeron al desarrollo de varios proyectos europeos, entre los que destacan AQUAVAL (2010-2013) y E<sup>2</sup>STORMED (2013-2015). A continuación se resumen los principales hitos del camino recorrido, y cómo cada experiencia y actividad ha ido influenciado el modo de entender el binomio agua-ciudad en el municipio de Benaguasil (Valencia).

# 2

## Primeros pasos apoyados en proyectos europeos

En el proyecto AQUAVAL (*Sustainable Urban Stormwater Management Plans, promoting SUDS and considering Climate Change, in the Province of Valencia*) confluyeron por primera vez diferentes administraciones, técnicos y científicos, en busca de fórmulas en pro de una gestión más sostenible del agua de lluvia en las ciudades, que hiciera frente a los problemas derivados de la impermeabilización creciente del suelo urbano (Perales-Momparler et al., 2015).

Uno de los principales objetivos era el demostrar que los SUDS, más extendidos en el norte y centro de Europa, también funcionan en el Mediterráneo, aunque claro está, adaptándolos a las condiciones climáticas y de uso del espacio urbano de cada lugar. Así, se diseñaron y construyeron en Benaguasil una zona de detención-infiltración en el polígono Les Eres, un aljibe de aprovechamiento de agua de lluvia en el centro juvenil y zonas de detención-infiltración en el parque Costa Ermita.

Cabe destacar que durante la fase de diseño de estos SUDS, los conocimientos adquiridos en la primera fase

de este proyecto LIFE posibilitaron y animaron a los técnicos y gobernantes municipales de Benaguasil a modificar la concepción del drenaje propuesta inicialmente para el aparcamiento de la nueva piscina cubierta municipal. Así, lo que iba a ser una nueva área impermeable, se transformó en un aparcamiento construido con hormigón poroso sobre una subbase de gravas, que permite gestionar en origen la lluvia que cae sobre él. De este modo, este proyecto europeo consiguió un primer cambio efectivo a escala local antes incluso de la finalización del mismo.

Todas estos SUDS, junto con los construidos en Xàtiva (Valencia), que fue el otro municipio socio del AQUAVAL, se monitorizaron durante un año, lo que permitió comprobar sus beneficios para la gestión del agua de lluvia tanto en cantidad como en calidad (Perales-Momparler et al., 2014 y 2016) muestran que están reduciendo los problemas de drenaje del centro urbano de Benaguasil.

Tras el positivismo creado en el proyecto AQUAVAL y con la “maquinaria engrasada”, el equipo de trabajo del AQUAVAL decide embarcarse en un nuevo proyecto más ambicioso, al ampliar la dimensión europea y el ámbito académico. En este contexto nace el proyecto E<sup>2</sup>STORMED (*Improvement of energy efficiency in the water cycle by the use of innovative storm water management in smart Mediterranean cities*), donde los socios del proyecto lo integran varias ciudades del arco mediterráneo europeo (Pisa, Zagreb, Cetinje, Hersonisos, Malta y Benaguasil), contando también con socios académicos (la Universitat Politècnica de València y la Universidad de Abertay Dundee, en Escocia).

Como icono de este proyecto, y haciendo servir las lecciones aprendidas de la cubierta vegetada que se instaló en el Colegio Gonzalbes Vera de Xàtiva en el marco del AQUAVAL, se construyó y monitorizó una cubierta vegetada y un aljibe de aprovechamiento de



Fig.1\_ Camino recorrido por Benaguasil en la gestión del agua de lluvia

agua de lluvia en el centro social de Benaguasil. Con los resultados hidráulicos y energéticos arrojados en este espacio se ha podido poner de manifiesto la efectividad de dichas técnicas en ambos campos (Andrés Doménech, et al., 2018). Este proyecto también permitió desarrollar una herramienta para la toma de decisiones en la gestión del agua de lluvia (Morales-Torres et. al, 2016), y publicar la relación que el municipio tiene con el agua desde tiempos ancestrales (Ballester-Olmos et. al, 2015)

El progreso realizado por Benaguasil hacia una gestión más sostenible de las escorrentías urbanas (figura 1), fue reconocido a principios de 2016, al hacerle entrega al alcalde de la localidad, D. José Joaquín Segarra Castillo, de manos de la ministra de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, Dña. Isabel García Tejerina, del 13º Premio Ciudad Sostenible (2015), en la categoría del ciclo del agua. Con ello, este municipio de 11.500 habitantes de la provincia de Valencia se alza como ejemplo a seguir en la gestión del agua de lluvia a nivel nacional (Peris-García y

Perales-Momparler, 2016), y su experiencia sirve como base para potenciar el proceso del cambio de paradigma en el drenaje urbano (Perales-Momparler et al., 2017).

### 3 De proyectos piloto a la práctica habitual

Actualmente, el ayuntamiento de Benaguasil participa activamente en labores de comunicación y difusión de los SUDS a todos los niveles (colegios, científicos, técnicos, etc.) y comparte su experiencia en diferentes grupos de trabajo, sirviendo como fuente de inspiración para otras ciudades a nivel internacional (figura 2).

Este baile entre la lluvia y el municipio de Benaguasil ha empapado a los gobernantes y técnicos locales, logrando que se considere de manera habitual la gestión sostenible del agua de lluvia en las intervenciones que se llevan a cabo en el municipio, integrándola en la toma de decisiones junto a otros aspectos también muy importantes



Fig. 2\_ Acciones de difusión de los SDDS de Benaguasil y reunión del grupo de trabajo regional

como la movilidad, la adaptación al cambio climático, la renaturalización del espacio urbano, etc.

Ejemplo de ello destacan dos actuaciones desarrolladas recientemente por el ayuntamiento con propios fondos: el parque en las inmediaciones del Cementerio (figura 3) y el parque del Polígono Industrial de Les Eres (figura 4). En ambos casos, el ayuntamiento ha mejorado el espacio urbano a la vez que se gestiona la escorrentía con soluciones basadas en la naturaleza, situando los caminos y espacios estanciales a una cota superior y drenando hacia las zonas verdes, que conforman jardines de lluvia.

## 4 Conclusiones

La experiencia de Benaguasil es un caso de éxito de armonía entre lluvia y ciudad. Tras una apuesta decidida por el drenaje sostenible mediante apoyo europeo, se ha logrado impactar a nivel local, regional y nacional. De este modo,

se ha conseguido que la excepción (representada con un proyecto piloto) se convierta en la regla habitual: los SUDS, que llegaron a Benaguasil hace más de 10 años, han venido para quedarse.

En base a la experiencia de Benaguasil, para que otras ciudades bailen con el agua de lluvia, se cree necesario lanzar campañas de comunicación a nivel nacional, tanto del enfoque de drenaje sostenible como poniendo en valor los casos de éxito en las ciudades españolas. Además, la monitorización de los SUDS ya construidos, o que se construyan próximamente, permitiría conocer más a fondo su funcionamiento, capacidad de gestión de las aguas pluviales, necesidad de mantenimiento e incluso, incrementar su efectividad. 📍

## REFERENCIAS

- Andrés-Doménech, I., Perales-Momparler S., Morales-Torres, E., Escuder-Bueno, I. (2018). *Hydrological performance of green roofs at building and city scales under Mediterranean conditions*. *Sustainability* 2018, 10, 3105.

- Ballester-Olmos, J.F., Peris-García, P.P., Perales-Momparler, S., Andrés-Doménech, I., Escuder-Bueno, I. (2015). El agua en Benaguasil. Un viaje en el tiempo. Ajuntament de Benaguasil, España. ISBN: 978-84-606-9596-7.

- European Commission (2015). *Towards an EU research and innovation policy agenda for nature-based solutions and re-naturing cities*. Directorate-General for Research and Innovation.

- Morales-Torres, A., Escuder-Bueno, I., Andrés-Doménech, I., Perales-Momparler, S. (2016). *Decision Support Tool for energy-efficient, sustainable and integrated urban stormwater management*. *Environmental Modelling & Software*, vol. 84, pp. 518–528.

- Perales-Momparler, S., Andrés-Doménech, I., Andreu, J., Escuder-Bueno, I. (2015). *A regenerative urban stormwater management methodology: the journey of a Mediterranean city*. *Journal of Cleaner Production* (19) 174 - 189.

- Perales-Momparler S., Andrés-Doménech, I., Hernández-Crespo C., Vallés-Morán F., Martín M., Escuder-Bueno I., Andreu J. (2017). *The role of monitoring sustainable drainage systems for promoting transition towards regenerative urban built environments: a case study in the Valencian region, Spain*. *Journal of Cleaner Production*. 163. 113 – 124.

- Perales-Momparler, S., Hernández-Crespo, C., Vallés-Morán, F., Martín, M., Andrés-Doménech, I., Andreu-Álvarez, J., Jefferies, C. (2014). *SuDS efficiency during the start-up period under mediterranean climatic conditions*. *CLEAN - Soil Air Water*. 2 (42). 178 - 186.

- Peris-García, P.P., Perales-Momparler, S. (2016). La apuesta por la infraestructura verde urbana para la gestión de pluviales tiene premio. CONAMA 2016: La respuesta es verde.

- UNWWAP (2018). *The United Nations World Water Development Report 2018: Nature-based solutions*. United Nations World Water Assessment Program. Paris, UNESCO.



Fig. 3\_ Nuevo jardín de lluvia en las inmediaciones del Cementerio de Benaguasil



Fig. 4\_ Jardín de lluvia en la remodelación del parque del Polígono Industrial Les Eres

# listos para la revolución de los recursos



En 2050, en el mundo vivirán 9.000 millones de personas, la mayoría en grandes ciudades. Este crecimiento de la población plantea dos grandes retos: el acceso al agua y la gestión eficiente de los residuos. Por eso en SUEZ innovamos para crear soluciones hídricas alternativas y transformar los residuos en nuevas fuentes de energía. Nuestro objetivo: garantizar a las generaciones futuras el acceso a los recursos naturales.

[www.suez.es](http://www.suez.es)

Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible

Una oportunidad para

# la planificación de ciudades sensibles al agua



**Ma ISABEL**  
**Rodríguez-**  
**Rojas**

Doctora Ingeniera de Caminos,  
Canales y Puertos.

Profesora titular del Dpto. de  
Urbanística y Ordenación del  
Territorio. E.T.S. de Ingeniería  
de Caminos, Canales y Puertos  
(Universidad de Granada)

## RESUMEN

La continua impermeabilización urbana producida durante el último siglo, ha ocasionado un aumento de los volúmenes de escorrentía y de la temperatura de las ciudades que está generando importantes impactos ambientales. La implantación de los SuDS en los entornos construidos está ayudando a mitigar los efectos del sellado del suelo y a mejorar la calidad ambiental de la ciudad. En este artículo se plantea cómo estos sistemas pueden ser el punto de partida hacia una planificación de Ciudades Sensibles al Agua, que contribuya a aumentar la resiliencia ante el cambio climático y la sostenibilidad de la gestión del drenaje urbano.

## PALABRAS CLAVE

Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible, SuDS, Diseño Urbano Sensible al Agua, Ciudades Sensibles al Agua

## ABSTRACT

*The continuous urban waterproofing that has occurred over the last century has given rise to an increase in the volumes of surface water run-off and the temperature of the cities and is creating considerable environmental impacts. The introduction of SuDS in built-up areas is helping to mitigate the effects of the sealing of soil and is improving the environmental quality of the city. This article considers how these systems might serve as the start-off point in the planning of Water Sensitive cities and contribute to an increased resistance to climate change and sustainability in the management of urban drainage.*

## KEYWORDS

*Sustainable Urban Drainage systems, SuDS, Water Sensitive Urban Design, Water Sensitive Cities*

# 1

## Introducción

La preocupación por la integración del agua en la ciudad ha estado siempre presente en el urbanismo, especialmente desde el fenómeno de la explosión industrial de finales del siglo XIX. El rápido crecimiento de las ciudades dio origen a barriadas insalubres donde se hacina-ba una población que sufría problemas higiénicos derivados de la acumulación de aguas residuales en las calles. Esto, unido a una incipiente circulación de vehículos, generó la necesidad urgente de implementar servicios que mejoraran la calidad de vida de los ciudadanos (pavimentación, saneamiento, abastecimiento,...). Así, los planes urbanísticos de la época (Plan Haussmann en París, 1853; Plan Cerdá en Barcelona, 1860,...) fueron el resultado de un proceso de 'modernización' que tenía como principal objetivo sanear y hacer transitable la ciudad impermeabilizando las superficies urbanas, en un proceso de urbanización que segregaba la gestión del agua del diseño del espacio urbano. Esto ha generado que de los 1.000 km<sup>2</sup> de superficie que se urbanizan al año en Europa<sup>1</sup> el 67 % sean impermeables<sup>2</sup>, lo cual ha consolidado un proceso de sellado del suelo que está teniendo graves consecuencias en la ciudad, como la modificación del clima urbano o efecto 'Isla de Calor'. La impermeabilización de los suelos ha disminuido además la infiltración de agua, aumentando considerablemente la cantidad y velocidad de la escorrentía superficial y originando una situación de insuficiencia de las redes de saneamiento tradicionales, haciendo que las primigenias redes unitarias proyectadas en su mayoría en los ensanches de finales del siglo XIX y ampliadas durante todo el siglo XX hasta el límite de sus posibilidades, resulten hoy en día insuficientes.

Este fenómeno de impermeabilización urbana, ya de por sí grave a día de hoy, empeorará previsiblemente en los próximos años por el incremento de

intensidad de las lluvias que prevén los actuales modelos de cambio climático<sup>3</sup>. Planificar las ciudades para aumentar su resiliencia ante este fenómeno se ha convertido en un objetivo primordial para reducir en la medida de lo posible sus efectos.

Las graves consecuencias del sellado del suelo y la amenaza constatada del cambio climático ponen de manifiesto la necesidad urgente de generar un cambio de paradigma en la gestión del drenaje urbano, más allá de la concepción tradicional de 'sanear la ciudad'. Resulta imprescindible evolucionar de un modelo basado en la ampliación continua y siempre insuficiente de las redes de saneamiento, a otro en el que la planificación urbana se convierta en una herramienta para diseñar Ciudades Sensibles al Agua, que recuperen la relación agua-ciudad, mejoren la calidad de vida de los ciudadanos y generen entornos más resilientes ante la intensificación de los fenómenos meteorológicos.

## 2 'Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible' y 'Diseño Urbano Sensible al Agua'; hacia una planificación integrada agua-ciudad

Los denominados 'Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible' o SUDS (traducción del término original '*Sustainable Urban Drainage Systems*'), también conocidos como SuDS ('*Sustainable Drainage Systems*') o *Stormwater BMP* ('*Best Management Practice*'), incluidos en el LID ('*Low Impact Development*') o más recientemente como NbS ('*Nature-based Solutions*'), tienen como objetivo principal limitar, mitigar y compensar los efectos del sellado del suelo, especialmente los relacionados con el ciclo del agua. Para ello, recogen el agua de lluvia, la transportan y almacenan durante el máximo de tiempo posible con objeto de ralentizarla, y después la infiltran y reutilizan en usos no consuntivos o en la recarga de acuíferos, recuperando en la medida de lo posible el ciclo hidrológico

del agua en la ciudad. Países como EE. UU., el Reino Unido, Canadá, Francia o Australia utilizan los SuDS desde hace más de una década obteniendo resultados muy positivos en la reducción de la escorrentía urbana y su contaminación. En España son muchos los proyectos que ya han demostrado su buen funcionamiento<sup>4</sup> (FIDICA, TRAPI, SOSTAQUA, MODUS, E<sup>2</sup>STORMED, AQUAVAL, DURABROADS, RHIVU, SUPRIS,...), desarrollando experiencias a escala real<sup>5</sup> que han servido para confirmar que los SuDS son aplicables en climatologías muy diferentes a las de los países de origen de estos sistemas<sup>6</sup> (fig. 1).

La implantación de los SuDS está suponiendo, sin duda, una herramienta muy útil para integrar el agua en los procesos urbanos. Sin embargo, debemos seguir avanzando en la gestión sostenible del drenaje más allá de la intervención puntual que supone la implantación de estos sistemas como medida para mitigar los efectos del sellado del suelo. Dado que la raíz del problema es un modelo de urbanización basado en la impermeabilización de superficies, la solución en origen debe basarse en una forma de ocupación del territorio más sostenible y acorde con los procesos hidrológicos, en la que el diseño de los elementos urbanos (calles, edificios, espacios públicos,...) se convierta en una herramienta para mejorar la calidad ambiental de la ciudad y aumentar su resiliencia ante el cambio climático. Este modelo, denominado 'Diseño Urbano Sensible al Agua' (DUSA) (traducción del término original *'Water Sensitive Urban Design'*), tiene su origen en Australia y se define como 'la integración del planeamiento urbano en la gestión, protección y conservación del ciclo urbano del agua, de forma que se asegure una gestión del agua sensible a los procesos hidrológicos y ecológicos'<sup>7</sup>. Su desarrollo está generando numerosos e impor-

tantes beneficios ambientales, sociales y económicos en las ciudades donde se comienza a implementar, haciendo más visibles los procesos hidrológicos y logrando una mayor implicación del ciudadano. Su aplicación en la lucha contra el cambio climático se ha convertido en los últimos años en una prioridad<sup>8</sup>, dando origen a un movimiento conocido como 'Ciudades Sensibles al Agua' (traducción del término original *'Water Sensitive Cities'*) que pretende hacer de nuestras ciudades lugares más agradables para vivir, resilientes y sostenibles<sup>9</sup>.

### 3 Planificación de 'Ciudades Sensibles al Agua'; principios y escalas de aplicación

El principal objetivo de la planificación de Ciudades Sensibles al Agua reside en construir entornos urbanos más cercanos al agua y a la naturaleza, donde las actividades propias del hombre puedan desarrollarse sin que esto implique un deterioro ambiental de la ciudad. El principal reto de esta planificación consiste en tratar al agua pluvial como un recurso en lugar de considerarla una amenaza para el funcionamiento de las redes de saneamiento y un factor de riesgo para la inundabilidad. Para ello, deben seguirse los principios básicos del 'Diseño Urbano Sensible al Agua'<sup>10</sup>, que se resumen en los siguientes:

- Proyectar superficies que potencien al máximo la infiltración del drenaje urbano (superficies permeables). Cuanta más infiltración generemos, más recarga de los acuíferos se producirá, menos agua acabará en las redes de saneamiento haciendo que estas funcionen mejor y menor será la temperatura del suelo y por extensión de la ciudad.
- Favorecer la retención de la escorrentía en aquellos lugares donde sea posible diseñando nuevos espacios para tal

Fig.1\_ SuDS de proyectos I+D+i en España; a) Aparcamiento permeable en Granada; b) Cuenta verde en Xàtiva, Valencia; c) Aparcamiento permeable en Las Llamas, Santander. Elaboración propia





efecto si fuera necesario. La retención es fundamental para ralentizar la respuesta hidrológica de las cuencas urbanas, disminuyendo la posibilidad de generar inundaciones y problemas de servicio y aumentando las posibilidades para reutilizar el agua.

- Buscar y crear oportunidades para la reutilización del agua infiltrada y/o retenida. En regiones con escasez hídrica la reutilización del agua pluvial en usos no consuntivos puede ser una fuente de recursos a considerar en la gestión del agua urbana.

Estos principios pueden concretarse en una serie de acciones generales que deben incorporarse en el proceso de planificación y diseño de la ciudad, fundamentalmente en las fases de análisis y propuestas (fig. 2). En primer lugar, deben analizarse los medios urbano e hidrológico en sus elementos comunes, determinando cuáles son las zonas potencialmente inundables, así como las calles donde más y más rápido circula el agua ('Calles Río') y aquellas donde más posibilidades hay de que esta se detenga ocasionando problemas de servicio ('Calles Lago'). De igual forma, es necesario estudiar las superficies impermeables existentes que sean susceptibles de ser permeabilizadas, así como las áreas multifuncionales y verdes donde se pueda conducir la escorrentía para su retención, infiltración y reutilización.

Una vez identificados estos elementos deben realizarse propuestas dirigidas a desempeñar los tres principios básicos ya citados: infiltración, retención y reutilización. Para ello, es fundamental crear corredores azules que aumenten el tiempo de recorrido del agua por la red de calles y que se conecten con los corredores verdes y/o espacios multifuncionales, donde se infiltrará y/o retendrá el agua pluvial (fig. 3). Los corredores azules requerirán de la modificación de la sección de las calles en sus cruces (interceptores de escorrentía), con el fin de conducir el agua hacia aquellas zonas que sean apropiadas para la retención, infiltración y reutilización del drenaje urbano (fig. 4).

En relación a los SuDS, en las partes altas y medias de las cuencas urbanas deben integrarse sistemas espe-



Fig. 2\_ Elementos a considerar en el proceso de planificación de 'Ciudades Sensibles al Agua'. Elaboración propia



Fig. 3\_ Creación y conexión de corredores verdes y azules; a) Rodríguez-Rojas et al., 2017<sup>10</sup>, b) CRC, 2017<sup>11</sup>

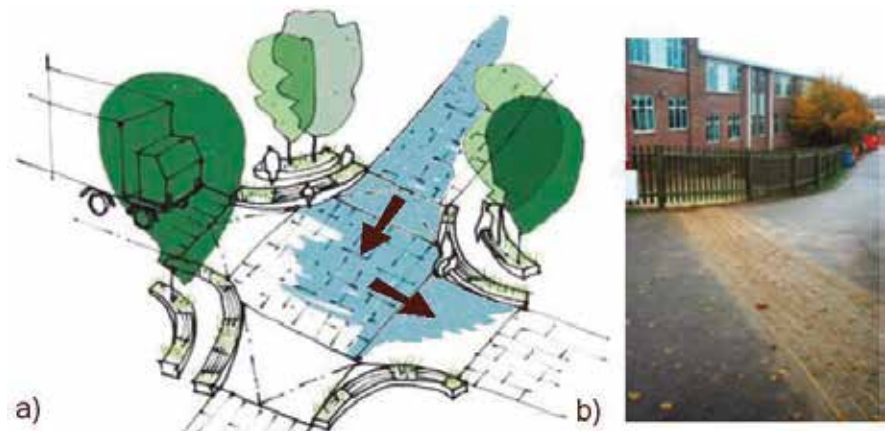


Fig. 4\_ Interceptores de escorrentía; a) Modificado de CIRIA, 2012<sup>12</sup>, b) SUSDRAIN, 2018<sup>13</sup>



Fig. 5\_ Escalas de intervención del 'Diseño Urbano Sensible al Agua' y posibles aplicaciones en la Normativa Urbanística. Elaboración propia

cialmente indicados para la retención-infiltración de la escorrentía (lagunas de infiltración-retención, áreas de bio-retención,...), con objeto de disminuir y ralentizar el volumen de drenaje que llega a las partes bajas, amortiguando así los aguaceros. En las zonas de menor cota de la ciudad y puntos de acumulación de agua deben utilizarse SuDS especialmente diseñados para la infiltración rápida de agua (zanjas y pozos filtrantes, pavimentos permeables,...), que disminuyan el tiempo de permanencia en la superficie asegurando así las condiciones de servicio de la ciudad y disminuyendo la probabilidad de inundación. Por último, la permeabilización y revegetación de todas las superficies disponibles y proyectadas (cubiertas verdes, jardines de lluvia,...) permitirá mejorar la calidad ambiental de la ciudad, disminuyendo la temperatura del entorno urbano y mejorando la calidad del aire.

Estos principios de planificación y diseño deben aplicarse en las tres escalas de intervención del ámbito urbano: el municipio, el barrio y la calle-parcela. Las principales cuestiones que deberán tenerse en cuenta en cada una de estas escalas y su posible integración en la normativa urbanística se resumen a continuación (fig. 5):

- En la escala municipal se intervendrá en el Plan General de Ordenación Urbana. Para ello se emplazarán las zonas verdes, espacios multifunciona-

les y sistemas generales de forma que colaboren en la retención e infiltración de la escorrentía (especialmente en las zonas altas y medias de la ciudad), tomando como base las cartografías de riesgo de inundabilidad del municipio. Así mismo, se definirán las normativas necesarias para potenciar la presencia de superficies verdes y permeables en la ciudad. Para ello, puede establecerse la obligatoriedad de implantar cubiertas verdes en las nuevas edificaciones (tal y como están haciendo ya muchos países del mundo; Francia, Suecia,...), y pueden definirse indicadores de permeabilidad que aseguren la transición hacia un modelo de urbanización más sostenible, tales como un ratio mínimo 'm² de superficie verde por habitante' y/o 'm² de superficie permeable por m² construido'.

- En el ámbito del barrio se actuará en los planes de desarrollo (fig. 6), planificando los corredores verdes-azules que ralentizarán e infiltrarán la escorrentía, y situando los SuDS en función del riesgo de inundación existente y de la potencialidad de los espacios para ser revegetados y/o repavimentados. En esta escala sería necesario realizar un estudio pormenorizado de la escorrentía que genera la nueva urbanización, de forma que los diseños implementados fueran capaces de auto-gestionar y enviar a la red la mínima cantidad de agua posible. Para incentivar la aplicación de estos principios podrían plantearse bonificaciones de diferente índole para aquellos planes que fueran más eficientes desde el punto de vista del DUSA y que, por tanto, contribuyeran en mayor medida a crear 'Ciudades Sensibles al Agua'.

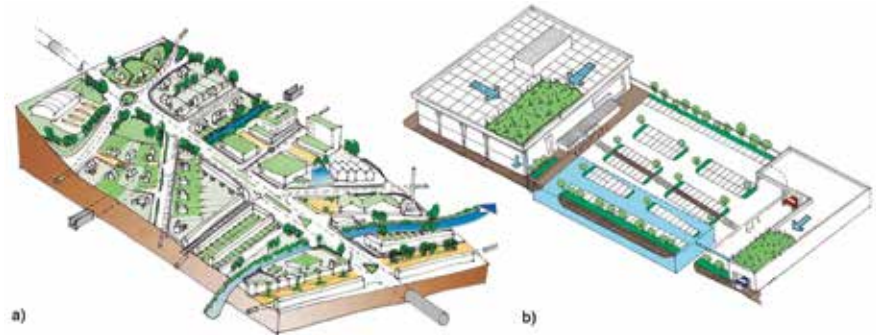
Al igual que los Planes Generales integran un estudio de inundabilidad que condiciona la ocupación de suelo, los planes parciales podrían incluir un 'Anexo de gestión de aguas pluviales' en el que se cuantificaran el volumen de escorrentía generado por el nuevo desarrollo y el porcentaje que podría infiltrarse y/o retenerse con las medidas proyectadas en el propio plan. Así, la normativa po-

dría establecer unos requisitos mínimos de autogestión de aguas pluviales que fueran recomendados o, en su caso, obligatorios. De esta forma, se aseguraría que los nuevos desarrollos urbanos no contribuyeran a disminuir la capacidad de las redes de saneamiento y a aumentar la probabilidad de inundaciones, disminuyendo, además, el coste de mantenimiento, conservación y ampliación no sólo de las redes, sino también de las estaciones depuradoras de aguas residuales en los sistemas unitarios.

- A nivel de parcela-calle deberá intervenir en los proyectos de urbanización (fig. 6). Para ello se llevará a cabo un diseño específico de los SuDS propuestos en los planes de desarrollo, se modificarán las rasantes de las calles para conducir el agua hacia los espacios verdes y/o multifuncionales, se permeabilizarán las superficies que sea posible y se planificará una ocupación de las parcelas que facilite el transporte y recogida del drenaje urbano. Por otro lado, deberán establecerse las medidas necesarias para reutilizar la escorrentía retenida y/o infiltrada en los usos no consuntivos pertinentes (riego de jardines, baldeo de calles,...), para lo cual la normativa urbanística podrá establecer recomendaciones tanto para la integración de los SuDS en el ámbito urbano de forma que su implantación sea compatible con los usos planificados, como para la reutilización del agua pluvial en colaboración con normativas de otra índole (Código Técnico de Edificación, R.D. para la Reutilización de Aguas...).

## 4 Conclusiones

La enorme expansión que las ciudades han experimentado en el siglo XX ha ocasionado un olvido casi generalizado de su relación con el agua que está generando impactos ambientales muy graves. La continua impermeabilización de los suelos ha supuesto un gran aumento de los volúmenes de esco-



rentía que las redes de saneamiento ya no pueden absorber, así como un incremento de la temperatura de las superficies que ha alterado el clima urbano. Esto ha ocasionado que desde hace algunos años se esté demandando una forma más sostenible de gestionar el agua en la ciudad que ayude a mitigar y paliar los efectos del sellado del suelo. En este sentido, la implantación de los SuDS está suponiendo una herramienta muy valiosa para recuperar, en la medida de lo posible, el sentido natural del ciclo hidrológico en la ciudad. Sin embargo, la utilización puntual de estos sistemas resulta insuficiente para solucionar un problema que tiene su origen en un modelo de urbanización insostenible. Por ello es necesario avanzar hacia un nuevo modelo de planeamiento integral o 'Diseño Urbano Sensible al Agua' cuyo objetivo principal sea crear 'Ciudades Sensibles al Agua'.

Así, el principal reto de la planificación de estas 'Ciudades Sensibles al Agua' residirá en construir entornos urbanos más cercanos al agua y a la naturaleza, donde las actividades propias del hombre puedan desarrollarse sin que esto implique una perjudicial alteración del ciclo natural del agua. Para ello deberán establecerse relaciones solidarias entre los medios urbano e hidrológico basadas en los principios de infiltración, retención y reutilización de la escorrentía, aplicados en las tres escalas de intervención urbana: el municipio, el barrio y la calle-parcela. En cada uno de estos ámbitos será necesario incorporar el agua pluvial

Fig. 6\_ Aplicación del 'Diseño Urbano Sensible al Agua' en la escala de; a) barrio (modificado de CIRIA, 2012<sup>12</sup>) b) parcela-calle (modificado de CIRIA, 2013<sup>14</sup>)

tanto en el proceso de diseño y planificación de la ciudad como en las normativas urbanísticas, de forma que puedan establecerse ciertas recomendaciones u obligaciones en relación a la gestión del drenaje en el ámbito del urbanismo. Para esto será necesaria la coordinación entre administraciones con objeto de que las propuestas desarrolladas cumplan tanto con los requerimientos urbanos como hídricos.

En conclusión, podemos decir que nos encontramos en un momento de cambio en el que debemos adaptar nuestros conocimientos técnicos para ponerlos al servicio de un modelo de planificación integrada agua-ciudad que contribuya al desarrollo de proyectos sensibles al agua, a la mejora de la calidad ambiental de las ciudades y al aumento de su resiliencia. 📍

## REFERENCIAS

- (1) COMISIÓN EUROPEA (2012). 'Guidelines on best practice to limit, mitigate or compensate soil sealing. Commission Staff Working Document'. Disponible en [http://ec.europa.eu/environment/soil/pdf/soil\\_sealing\\_guidelines\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/environment/soil/pdf/soil_sealing_guidelines_en.pdf)
- (2) FINI, A., FRANGI, P., MORI, J., DONZELLI, D., FERRINI, F., (2017). 'Nature based solutions to mitigate soil sealing in urban areas: Results from a 4-year study comparing permeable, porous, and impermeable pavements'. *Environmental Research*, 156, 443-454. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2017.03.032>
- (3) OLSSON, J., BERGGREN, K., OLOFSSON, M., VIKLANDER, M. (2009). 'Applying climate model precipitation scenarios for urban hydrological assessment: A case study in Kalmar City, Sweden'. *Atmospheric Research*, 3 (92), 364-375. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2009.01.015>
- (4) PERALES-MOMPARLER S., ANDRÉS-DOMÉNECH I., HERNÁNDEZ-CRESPO, C., VALLÉS-MORÁN F., MARTÍN, M., ESCUDER-BUENO I., ANDREU, J., (2016). 'The role of monitoring sustainable drainage systems for promoting transition towards regenerative urban built environments: a case study in the Valencian region, Spain'. *Journal of Cleaner Production*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.05.153>
- (5) RODRÍGUEZ-HERNÁNDEZ, J. ANDRÉS-VALERI, V. C., ASCORBE-SALCEDO, A., CASTRO-FRESNO, D., (2016). 'Laboratory Study on the Stormwater Retention and Runoff attenuation Capacity of Four Permeable Pavements'. *Journal of Environmental Engineering*, 142 (2). [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)EE.1943-7870.0001033](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)EE.1943-7870.0001033)
- (6) RODRÍGUEZ-ROJAS, M. I., HUERTAS-FERNÁNDEZ F., MARTÍNEZ G., MORENO B., GRINDLAY A. (2018). 'A study of the application of permeable pavements as a sustainable technique for the mitigation of soil sealing in cities: a case study in the south of Spain'. *Journal of Environmental Management*, 205, 151-162 <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.09.075>
- (7) COAG (2004). 'Council of Australian Governments Meeting', Canberra 25-06-2004. Disponible en [http://ncp.ncc.gov.au/docs/Council %20of %20Australian %20Governments %20Meeting %20- %2025 %20June %202004.pdf](http://ncp.ncc.gov.au/docs/Council%20of%20Australian%20Governments%20Meeting%20-%202025%20June%202004.pdf)
- (8) CRC for Water Sensitive Cities (2013). 'Determine the microclimate influence of harvesting solutions and Water Sensitive Urban Design at the micro-scale. Green cities and microclimate'. Disponible en <https://watersensitivecities.org.au/wp-content/uploads/2016/06/GreenCitiesandMicroclimate-no1-web.pdf>
- (9) CRC for Water Sensitive Cities (2018), <https://watersensitivecities.org.au/> (Consultado el 06-05-2018)
- (10) RODRÍGUEZ-ROJAS, M. I., CUEVAS-ARRABAL, M. M., MORENO B., MARTÍNEZ G. (2017). 'El cambio de paradigma de la gestión del drenaje urbano desde la perspectiva del planeamiento. Una propuesta metodológica'. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 75, 55-74. <https://doi.org/10.21138/bage.2492>
- (11) CRC for Water Sensitive Cities. *Case studies* (2017). Disponible en [https://watersensitivecities.org.au/wp-content/uploads/2018/05/South-Bank-Rain-Bank %E2 %80 %94Case-Study-180503-V6\\_WEB.pdf](https://watersensitivecities.org.au/wp-content/uploads/2018/05/South-Bank-Rain-Bank%E2%80%94Case-Study-180503-V6_WEB.pdf)
- (12) CIRIA C713 (2012). 'Retrofitting to manage surface water'. CIRIA, London
- (13) SUSDRAIN (2018). [www.susdrain.org](http://www.susdrain.org) (Consultado el 12/05/2018)
- (14) CIRIA C723 (2013). 'Water Sensitive Urban Design in UK'. CIRIA, London

# Planificación y gestión del sistema hidrológico

de Vitoria-Gasteiz  
en clave de  
infraestructura verde  
("infraestructura azul")



## BLANCA Marañón

Licenciada en Biología.  
Técnica del Centro de Estudios  
Ambientales del Ayuntamiento de  
Vitoria-Gasteiz

### RESUMEN

El presente artículo repasa la planificación y la gestión hidrológica que Vitoria-Gasteiz está llevando a cabo para solucionar los problemas de inundabilidad y saneamiento existentes en la ciudad. Se explica el enfoque adoptado para la resolución de las disfunciones, basado en la aplicación de soluciones naturales de infraestructura verde-azul y se describen algunos de los proyectos total o parcialmente ejecutados. El fin último es restituir la dinámica natural del sistema hidrológico en Vitoria-Gasteiz –altamente alterado por el embocinamiento de algunos ríos a su paso por la ciudad–, mejorar la calidad del agua del cauce receptor y aumentar las reservas de agua.

### PALABRAS CLAVE

Regulación de caudales, ríos urbanos, soluciones multifunción

### ABSTRACT

*The present article reviews the hydrologic planning and management being conducted in Vitoria-Gasteiz to resolve the prevailing problems of flooding and drainage in the city. The problem-solving focus has been based on the application of natural green-blue infrastructure "solutions" and the article describes some of the projects that have been fully or partially implemented. The ultimate aim of this is to restore the natural dynamic of the hydrologic system in Vitoria-Gasteiz, considerably altered by the channelling of some of the rivers on their passage through the city, to improve the water quality of the receiving channels and increase water reserves.*

### KEYWORDS

*Flow regulation, urban rivers, multi-functional solutions*

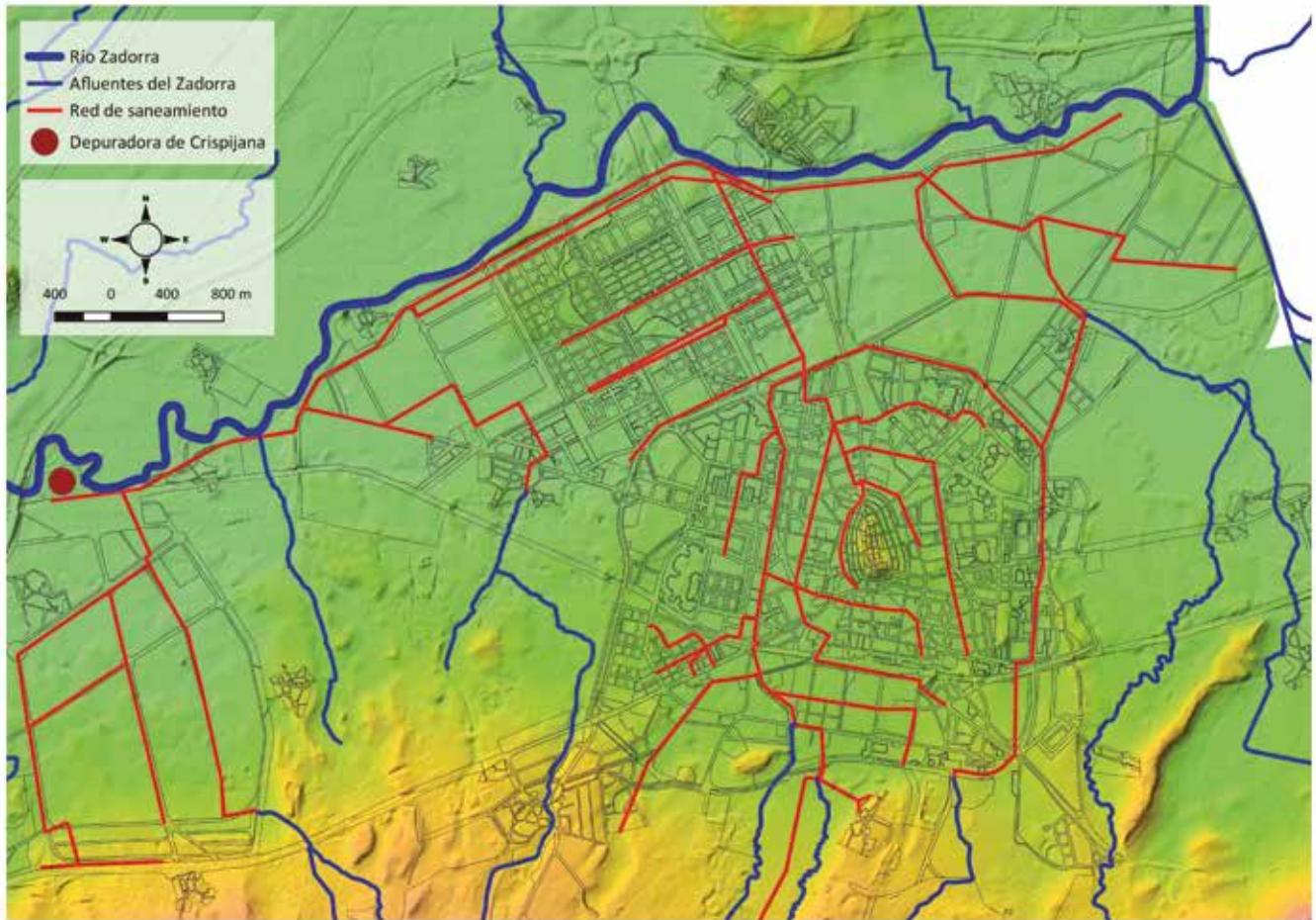


Fig. 1\_ Sistema hidrológico y red de saneamiento de Vitoria-Gasteiz

# 1 Problemática del sistema hidrológico en el municipio de Vitoria-Gasteiz

Gran parte del territorio municipal de Vitoria-Gasteiz se asienta sobre el Acuífero Cuaternario de Vitoria, importante reserva de agua subterránea de 450 millones de litros aproximadamente. El sistema hídrico superficial está formado por una densa malla de ríos y arroyos que, bajando de los montes cercanos, desembocan en el Zadorra, río principal de Álava, que circunvala la ciudad por el norte a lo largo de 11 km, constituyendo su límite natural.

Un problema recurrente en Vitoria-Gasteiz son las inundaciones que periódicamente se producen, tanto en la zona norte –como consecuencia del desbordamiento del río Zadorra a su paso por la ciudad–, como en la sur, debido al embocinamiento de los ríos que nacen en Montes de Vitoria y que al entrar en la ciudad son canalizados y soterrados para pasar a funcionar como colectores de la red unitaria de saneamiento.

La modificación del régimen natural del río Zadorra por la construcción aguas arriba del sistema de embalses de abastecimiento en los años 50 del siglo XX, junto con la ocupación de las vegas de inundación, son las causas principales de los

periódicos desbordamientos de este río y de las frecuentes inundaciones que han afectado durante lustros a las zonas industriales situadas al norte de la ciudad y que han ocasionado importantes pérdidas económicas.

Especialmente problemática es la situación de los ríos del sur. Ríos como el Santo Tomás, el Errekaleor, el Zapardiel, el Batán o el Esquíbel –que, hasta hace pocas décadas, conectaban los Montes de Vitoria con el río Zadorra– fueron embocinados a la entrada de la ciudad pasando a funcionar como colectores de la red de saneamiento. Además de la pérdida total de funcionalidad ecológica y social, su transformación en colectores genera problemas añadidos, sobre todo en épocas de fuertes lluvias, como inundaciones en las zonas urbanas próximas a los puntos de embocinamiento y sobrecarga en la red de saneamiento y en la depuradora, lo que conlleva un esfuerzo innecesario de depuración de agua relativamente limpia y el vertido de agua residual no tratada con alta carga contaminante directamente al río Zadorra, cuando el emisario entra en situación de sobrecarga.

## 2 Enfoque para la resolución de los problemas: soluciones basadas en la naturaleza y sistemas urbanos de drenaje sostenible

La resolución de la problemática asociada al sistema hidrológico en Vitoria-Gasteiz se está abordando a través de diferentes tipos de actuaciones, entre ellas:

- actuaciones de derivación de los caudales de los ríos del sur, para evitar su entrada a la red de saneamiento y su consiguiente sobrecarga, utilizando los parques periurbanos del Anillo Verde de Vitoria-Gasteiz como espacios de laminación de agua;
- actuaciones de prevención de inundaciones en el río Zadorra mediante soluciones blandas que persiguen, además, la restauración ambiental del río y sus riberas;
- proyectos de restauración de flujos regulados en el interior de la ciudad, asociados a la creación de nuevos conectores ecofluviales, como parte del Sistema de Infraestructura Verde de la ciudad;
- instalación de redes separativas en los nuevos barrios de la ciudad, asociadas a sistemas avanzados de control de calidad y bombeo de aguas pluviales, para limitar la entrada del agua de lluvia y escorrentía al saneamiento (solo entrarían las más contaminadas), evitando su sobrecarga innecesaria y disminuyendo el riesgo de inundación y contaminación;

- instalación de sistemas urbanos de drenaje sostenible, como pavimentos permeables, cajones de propileno que favorecen la infiltración de agua y soluciones “naturales”, como la plantación de vegetación propia de humedales en medianas, rotondas y otros espacios urbanos, que ayuda a retener el agua y a aumentar la infiltración.

Se trata de actuaciones y proyectos dirigidos a prevenir inundaciones, optimizar el funcionamiento de la red de saneamiento y de la estación depuradora, limitar los vertidos de agua contaminada al río Zadorra...; en definitiva, restituir la dinámica natural del sistema hidrológico en Vitoria-Gasteiz, permitiendo que las aguas limpias (fluviales y pluviales no contaminadas) viertan directamente al río Zadorra y aumentando las reservas de agua del subsuelo.

## 3 Actuaciones de mejora del sistema hidrológico en clave de Infraestructura Verde

En la figura 2 se representan con números y por orden cronológico los proyectos ya ejecutados y los proyectos en los que se está trabajando. En todos ellos se plantea la aplicación de soluciones de carácter multifuncional, intentando, además de resolver la problemática hidrológica detectada, aportar otros beneficios ambientales y sociales.

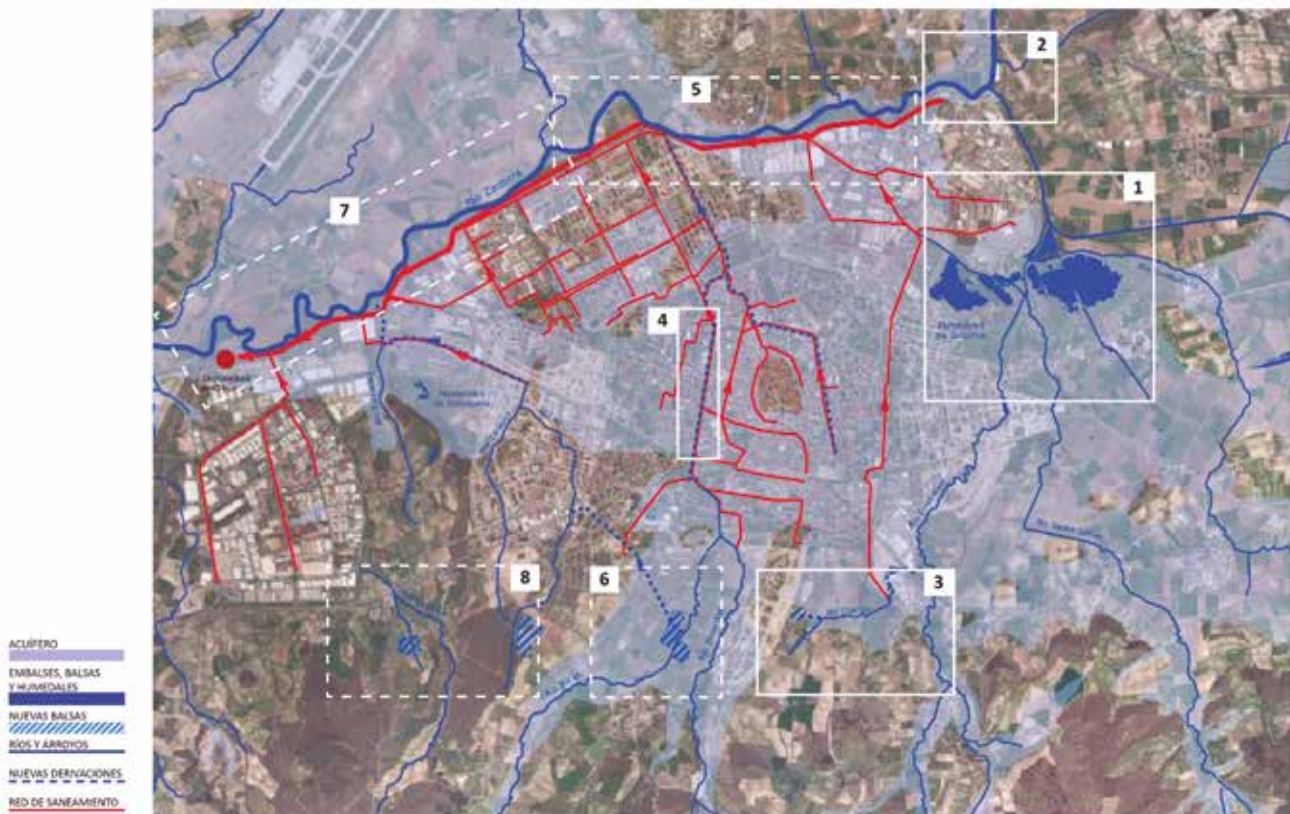


Fig. 2\_ Proyectos de mejora hidrológica en Vitoria-Gasteiz

## Proyectos ejecutados

1. Proyecto de derivación de los ríos Santo Tomás y Errekaleor al río Zadorra.
2. Proyecto de adecuación hidráulica y restauración ambiental del río Zadorra. Fase 1.
3. Proyecto de derivación del río Olarizu al río Errekaleor.
4. Proyecto de reforma urbana de la Avenida Gasteiz. Fase 1.

## Proyectos de futuro

5. Proyecto de adecuación hidráulica y restauración ambiental del río Zadorra. Fases 2 y 3.
6. Regulación de caudales de los ríos Batán y Zapardiel y trasvase al río Ali
7. Proyecto de adecuación hidráulica y restauración ambiental del río Zadorra. Fase 4.
8. Regulación de caudales de los ríos Ali y Eskibel.

### 3.1. Proyecto de derivación de los ríos Santo Tomás y Errekaleor al río Zadorra

En la década de los años 90 del siglo pasado se inició el desvío de los ríos del sur para evitar su entrada al sistema de saneamiento.

El primer proyecto en realizarse fue la derivación de los ríos Errekaleor y Santo Tomás al río Zadorra, a través de los humedales de Salburua. Esta actuación ha permitido recuperar los antiguos humedales de Salburua, que fueron desecados en el siglo XX; estos humedales, además de actuar como espacios de laminación de avenidas, previniendo inundaciones en las zonas industriales adyacentes, son actualmente un espacio de

enorme valor ecológico y social (Humedales RAMSAR de Importancia Internacional y Zona de Especial Conservación (ZEC) de la Red Natura 2000). En la figura 3 se muestran algunos detalles del proyecto.

### 3.2. Proyecto de derivación del río Olarizu al río Errekaleor

En 2014 se llevó a cabo un proyecto para derivar las aguas limpias del río Olarizu, a través de un colector subterráneo, hacia el río Errekaleor, evitando su entrada en la ciudad, y desde este cauce natural hasta el río Zadorra.

En la entrada al colector y aprovechando la existencia de una antigua balsa para el abastecimiento de agua a una industria próxima, se construyó un dique de tierra provisto de aliviadero, para laminar los caudales de avenida y reducir los caudales máximos, reduciendo enormemente el riesgo de inundaciones en el casco urbano. La balsa de avenidas se integra perfectamente en el paisaje del parque de Olarizu, en el Anillo Verde.

### 3.3. Proyecto de adecuación hidráulica y restauración ambiental del río Zadorra

La necesidad de adecuar hidráulicamente el río Zadorra para evitar las inundaciones en las zonas industriales cercanas al río, junto con la oportunidad de restaurar ambientalmente el cauce y sus riberas para integrar este espacio en el Anillo Verde, recuperándolo para su uso recreativo y social, ha supuesto la elaboración de un ambicioso Plan de adecuación hidráulica y restauración ambiental del río Zadorra.

Este plan se está ejecutando por fases sobre una longitud total de 13 kilómetros y una superficie de 251 hectáreas e incluye limpiezas y mejoras de puentes, la creación de cauces alternativos de avenidas, la restauración ambiental de riberas, la creación de paseos peatonales y ciclistas y la recuperación de un meandro, hoy cortado. El resultado será un gran parque fluvial que albergará uno de los paseos más largos del Anillo Verde, de un extremo a otro de la ciudad por el norte, favoreciendo la integración del río en la vida de la ciudad.

Las obras comenzaron en diciembre de 2003. En 2005 finalizaron los trabajos en el tramo más oriental del río, entre el puente de Gamarra y el puente de la autovía A-1, que consistieron en el acondicionamiento de un cauce de derivación de avenidas, que ha permitido aliviar el exceso de caudal en épocas de fuertes lluvias, reduciendo el riesgo de inundaciones. Este cauce alternativo está siendo muy utilizado por paseantes y ciclistas en época seca dando continuidad a la Vuelta al Anillo Verde.

En la figura 4 se observa cómo desborda el río en un episodio de fuertes lluvias, y cómo funciona la solución adoptada previniendo las inundaciones en el polígono industrial de Gamarra.

Otra importante actuación hidráulica realizada para facilitar la circulación del agua ha sido la construcción en 2006 de un puente nuevo, en paralelo y a escasos metros del puente viejo de Abetxuko, y de mayores dimensiones que éste. Gracias a esta actuación se ha conseguido mejorar la capacidad hidráulica del río, evitando el obstáculo que suponía el puente viejo (que se ha mantenido por su valor patrimonial).



Fig. 3\_ Derivación de arroyos y laminación de avenidas en los humedales de Salburua





Fig. 4\_ Desbordamiento del río Zadorra en episodio de fuertes lluvias

Para fases posteriores se contempla continuar con la adecuación de las secciones del cauce del río Zadorra para dotarlo de capacidad suficiente para recoger los caudales ordinarios y de avenida del Zadorra y el agua proveniente de los ríos derivados.

### 3.4. Proyecto de regulación de caudales de los ríos Batán y Zapardiel y recuperación de un río urbano

Los proyectos 4, 6 y 8 forman parte de una actuación de carácter integral que abarca el sistema hidrológico asociado a los ríos Batán y Zapardiel, desde su tramo medio hasta su confluencia con el río Zadorra, una vez atravesado el casco urbano. Del esquema de soluciones planificado, se han acometido ya algunas actuaciones; otras se acometerán en el futuro.

Los ríos Batán y Zapardiel son dos de los arroyos que, antes de ser embocinados, conectaban los Montes de Vitoria con el río Zadorra. A su entrada a la ciudad estos ríos confluyen y se embocinan. El cauce pasa a transformarse en un colector, en el que el agua aún relativamente limpia del río se mezcla con las aguas fecales y las aguas pluviales y de escorrentía, originándose en momentos de lluvias intensas los problemas anteriormente citados: inundaciones de garajes y bajos de edificios en las zonas próximas al embocinamiento, vertidos de agua residual no tratada a través de los aliviaderos al río Zadorra, con la consiguiente contaminación del agua y el colapso de la depuradora.

La búsqueda de soluciones se ha enfocado desde una visión integral del sistema fluvial: las actuaciones llevadas a cabo y las previstas son de muy diversa índole, debiendo adaptarse tanto a la fisonomía como a los múltiples procesos y usos que tienen lugar en cada zona de actuación y con los que el proyecto debe coexistir.



Fig. 5\_ Cauce de derivación de avenidas del río Zadorra, en Gamarra

En el punto de encuentro con la ciudad, las obras proyectadas (proyectos 6 y 8) incluyen las siguientes actuaciones:

- Creación de balsas de laminación de avenidas, aprovechando unas graveras abandonadas situadas antes de llegar a la ciudad, a fin de reducir el caudal del río Batán y evitar las inundaciones a la entrada en Vitoria, tal y como se observa en la figura 6.
- Derivación de parte del caudal desde las balsas hacia los nuevos cauces seminaturales, como el Perretxin, Ali y Eskibel, que discurren por los barrios del oeste de la ciudad.
- Acondicionamiento del entorno degradado de las graveras, reconvertidas en balsas, como nuevo parque periurbano del Anillo Verde, entre los parques de Olarizu y Armentia.

Ya en la ciudad, desde el lugar de embocinamiento del cauce y a lo largo de su recorrido se han llevado a cabo las siguientes intervenciones:

- Desdoblamiento de la red de saneamiento y creación de una doble red separativa, evitando mezclar las aguas fecales con las aguas de lluvia y escorrentía.
- Recreación de un cauce natural y una ribera en una parte del recorrido, que permite disfrutar del paseo y la presencia del agua limpia que no precisa ser incorporada a la depuradora.
- Instalación de sistemas urbanos de drenaje sostenible que permiten recoger las aguas pluviales para su posterior reutilización.

El conjunto de intervenciones llevadas a cabo en el ámbito urbano están íntimamente asociadas a uno de los principales proyectos de Infraestructura Verde Urbana de Vitoria-Gasteiz: la reforma ur-



Fig. 6\_ Recreación de las balsas de laminación de avenidas sobre las graveras degradadas de Lasarte

bana de la Avenida Gasteiz (4). Este proyecto persigue la mejora integral de toda esta arteria vial para transformarla en un corredor urbano energéticamente eficiente, con mayor presencia vegetal, más espacio para el peatón, más permeable, y de mayor calidad ambiental. Incluye, además de las actuaciones hidráulicas señaladas, actuaciones de peatonalización, habilitación de carriles bici, plantación de arbolado asociado al nuevo cauce, etc.

Tras las intervenciones hidráulicas llevadas a cabo, actualmente por la Avenida Gasteiz discurre un cauce artificial que recoge el agua limpia del río Batán, recreando el cauce natural por donde antaño discurría este río antes de ser embocinado. La recreación del cauce natural del río Batán, asociado a un paseo arbolado, constituye un nuevo espacio para el ocio y el paseo, aporta frescor ambiental y mejora la calidad estética de este vial.

Se puede decir que se trata de un proyecto de Infraestructura Verde, compuesto por un conjunto de actuaciones hidráulicas de prevención de inundaciones y de mejora de la biodiversidad en el sistema de los ríos. Parte de las aguas del río Batán, ahora canalizadas en una tubería de sección ovoide que discurre bajo el actual paseo central, aflora a la superficie en el tramo reformado. Este río recuperado viene a estructurar la nueva avenida introduciendo un paisaje biodiverso.

La obra de toma del agua limpia se realiza en el punto en el que el río desaparece para convertirse en colector urbano. El agua limpia del río se ha introducido en un conducto que discurre por el interior del colector hasta llegar al cauce a cielo abierto por toda la avenida por gravedad.

La avenida queda así impregnada por toda la biodiversidad arrastrada por el agua que discurre desde los Montes de Vitoria, atravesando las tierras de cultivo para llegar a la ciudad de camino al río Zadorra. Es un hilo más a sumar a la malla de Infraestructura Verde Urbana. Una serie de sifones aseguran la continuidad del agua en los diferentes tramos del cauce.

Se ha mejorado, asimismo, el drenaje y la permeabilidad del suelo tanto por la ampliación de las zonas verdes como por la incorporación de sistemas de laminación e infiltración (cajones de propileno). Una serie de cámaras filtran de alguna manera el agua antes de ser introducida en los cajones infiltrantes. El agua caída en las zonas de pavimento de mayor permeabilidad se introduce en los cajones desde donde lentamente se va infiltrando en el terreno. Constituyen, a su vez, un reservorio de humedad que alimenta la vegetación del cauce antes descrito. A continuación, en las figuras 7 y 8 se muestran detalles constructivos de las obras llevadas a cabo.

Queda pendiente ejecutar las obras necesarias para conducir las aguas hasta el río Zadorra y desarrollar las herramientas I+D de control y monitoreo necesarias para el buen funcionamiento de toda la actuación. 📍



recreación de corredor fluvial

colector de la red de saneamiento

sistema separativo de infiltración y depuración de aguas superficiales y pluviales

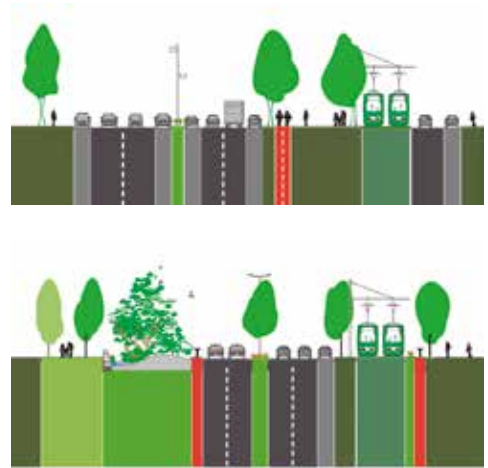


Fig. 7\_ Esquema de ordenación y sección constructiva del proyecto de reforma de la Avenida Gasteiz

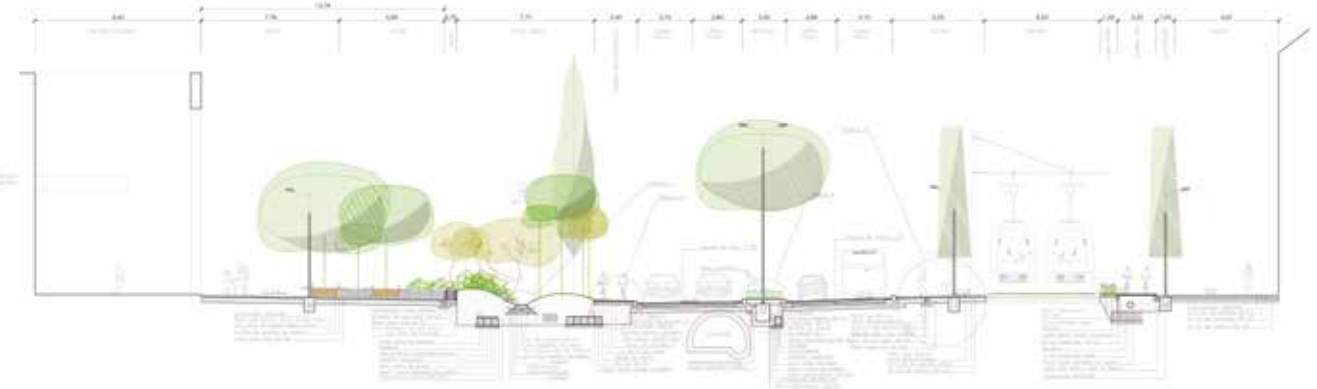


Fig. 8\_ Proyecto de reforma urbana de la Avenida Gasteiz con técnicas de ecodiseño

# Influencia de la precipitación

en el diseño de SUDS



ÁLVARO  
**Sordo-  
Ward**

Doctor Ingeniero Civil.  
Profesor, Departamento de  
Ingeniería Civil: Hidráulica, Energía y  
Medio Ambiente.  
Universidad Politécnica de Madrid



IVÁN  
**Gabriel-  
Martín**

Ingeniero de Caminos,  
Canales y Puertos.  
Investigador, Departamento  
de Ingeniería Civil: Hidráulica,  
Energía y Medio Ambiente.  
Universidad Politécnica de  
Madrid



SARA  
**Perales-  
Momparler**

Doctora Ingeniera de Caminos,  
Canales y Puertos.  
Consejera delegada de Green Blue  
Management



LUIS  
**Garrote**

Doctor Ingeniero de Caminos,  
Canales y Puertos, Catedrático  
de Universidad, Departamento  
de Ingeniería Civil: Hidráulica,  
Energía y Medio Ambiente,  
Universidad Politécnica de  
Madrid

## RESUMEN

En los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS), la correcta caracterización de las solicitaciones de lluvia de diseño tiene una influencia importante en su dimensionamiento. Este artículo se centra en la metodología utilizada para determinar el valor de los percentiles a emplear en la definición de los objetivos de reducción de volúmenes de escorrentía y de mejora de la calidad de las aguas de lluvia en el diseño de SUDS (operación funcional).

En el estudio realizado se observa que existe una variabilidad importante en la estimación del valor de los percentiles volumétricos en función de la metodología empleada, y que, al mismo tiempo, el utilizar un percentil u otro tiene mucha trascendencia en el dimensionamiento de los SUDS

## PALABRAS CLAVE

SUDS, percentiles volumétricos,  $V_{80}$ , precipitación

## ABSTRACT

*In Sustainable Urban Drainage systems, the correct characterisation of design stormwater loads has an important influence on their scaling. This article focuses on the method employed to determine the value of the percentiles used in the definition of the objectives to reduce the volumes of surface water run-off and improve the quality of the stormwater in the design of the SUDS (functional operation).*

*In the study carried out there was seen to be a considerable variation in the estimation of the value of the volumetric percentiles according to the methodology employed and that, at the same time, the use of one percentile or another had a considerable bearing on the scaling of the SUDS.*

## KEYWORDS

SUDS, volumetric percentiles,  $V_{80}$ , rainfall

# 1

## Introducción

En los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS), la correcta caracterización de las solicitaciones de lluvia de diseño tiene una influencia importante en el dimensionamiento de las diferentes técnicas SUDS. Dependiendo de cada tipo de técnica, las lluvias de diseño resultarán de tener en cuenta diferentes aspectos de los eventos como pueden ser su magnitud, duración y distribución temporal, tal que generen los mayores caudales punta, volúmenes de escorrentía o niveles máximos, entre otros, y, todo ello, asociado a diferentes períodos de retorno de cada variable (Woods-Ballard et al., 2015). Usualmente, en el diseño de las tormentas se adoptan ciertas simplificaciones en la caracterización de las mismas, fundamentalmente debido a falta de información detallada de lluvia en la zona de estudio.

El presente artículo tiene por objeto la caracterización de tormentas y parámetros pluviométricos de diseño para Sistemas de Gestión Sostenible de Aguas Pluviales en el municipio de Madrid, a partir del uso de información detallada de las estaciones meteorológicas de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) de Retiro (código 3195), Barajas (código 3129) y Cuatro Vientos (código 3196). En particular este artículo se centra en determinar el valor de los percentiles a emplear en la definición de los objetivos de reducción de volúmenes de escorrentía y de mejora de la calidad de las aguas de lluvia en el diseño de SUDS (operación funcional), aunque el estudio global también incluye un análisis de las precipitaciones extremas.

# 2

## Percentiles volumétricos

Atendiendo a bibliografía internacional (Atlanta Regional Commission, 2016; City of Portland, 2016; USEPA, 2008; Woods-Ballard et al., 2015), el diseño funcional de los SUDS puede realizarse en base a los denominados percentiles volumétricos de la serie de precipitaciones disponible. De este modo, en función del criterio de diseño (gestión de caudales y volúmenes, gestión de calidad, obtención de créditos para determinadas certificaciones, como la LEED, etc.), se emplean unos volúmenes de precipitación de un percentil u otro, siendo los más comunes

80, 85, 90 y 95 (quedando identificados con las siglas  $V_{80}$ ,  $V_{85}$ ,  $V_{90}$  y  $V_{95}$ ).

Sin embargo, existen diversos criterios para determinar el valor de dichos percentiles volumétricos. En este estudio, los criterios de diseño funcional analizados son: a) atendiendo al número de episodios a gestionar (USEPA, 2008; Woods-Ballard et al., 2015) y b) atendiendo al volumen total a gestionar (City of Portland, 2016).

Se emplearon los datos pluviométricos de la estación de Retiro de AEMET (código 3195) ubicada en el Municipio de Madrid, utilizando una serie de 12 años de datos de lluvia con paso de tiempo 10-minutal (del intervalo 2009 al 2017, datos obtenidos en el marco de los trabajos, junto con datos provenientes de un estudio anterior, de los años 1997, 1998, 2007). En este caso, se separaron los eventos asumiendo un tiempo mínimo entre eventos (TME) igual a 24 horas (CYII, 2016), esto es, si el tiempo entre dos pulsos de precipitación es inferior a este valor, ambos pulsos pertenecen al mismo evento, de lo contrario se consideran eventos independientes. Asimismo, se consideraron distintos umbrales mínimos de precipitación de evento, con el fin de analizar la afección de este umbral a los valores obtenidos. En los siguientes apartados se presenta el análisis realizado aplicando los dos criterios de diseño funcional de SUDS mencionados. Se presentan en detalle los valores obtenidos para el percentil 80 ( $V_{80}$ ), y a modo de comparación los de los percentiles 85, 90 y 95 ( $V_{85}$ ,  $V_{90}$  y  $V_{95}$ ).

# 3

## Percentiles de volumen según la frecuencia de eventos a gestionar

En el caso de este criterio,  $V_{80}$  representa el valor de precipitación de lluvia tal que el 80 % de los eventos tiene una precipitación menor o igual a ese valor. Utilizando este criterio, los resultados pueden estar fuertemente condicionados por dos factores: a) el umbral de volumen mínimo de precipitación para considerar una tormenta en el análisis y, b) el tiempo mínimo sin lluvia para considerar las tormentas independientes (TME).

Para el caso considerado, donde TME se ha establecido en 24 horas, se analizaron tres hipótesis de umbral de volumen de lluvia mínimo: 0 mm (sin descartar episodios), 0,5 mm y 1 mm, obteniendo valores del  $V_{80}$  de entre 14,9 y 19,6 mm (figura 1).

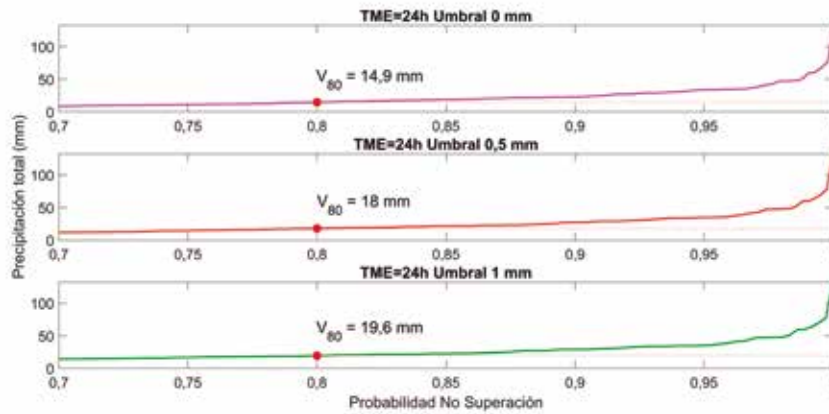


Fig. 1\_ Probabilidad de no superación en la serie analizada y valor de  $V_{80}$  para los umbrales de episodio de 0, 0,5 y 1 mm y TME 24 horas

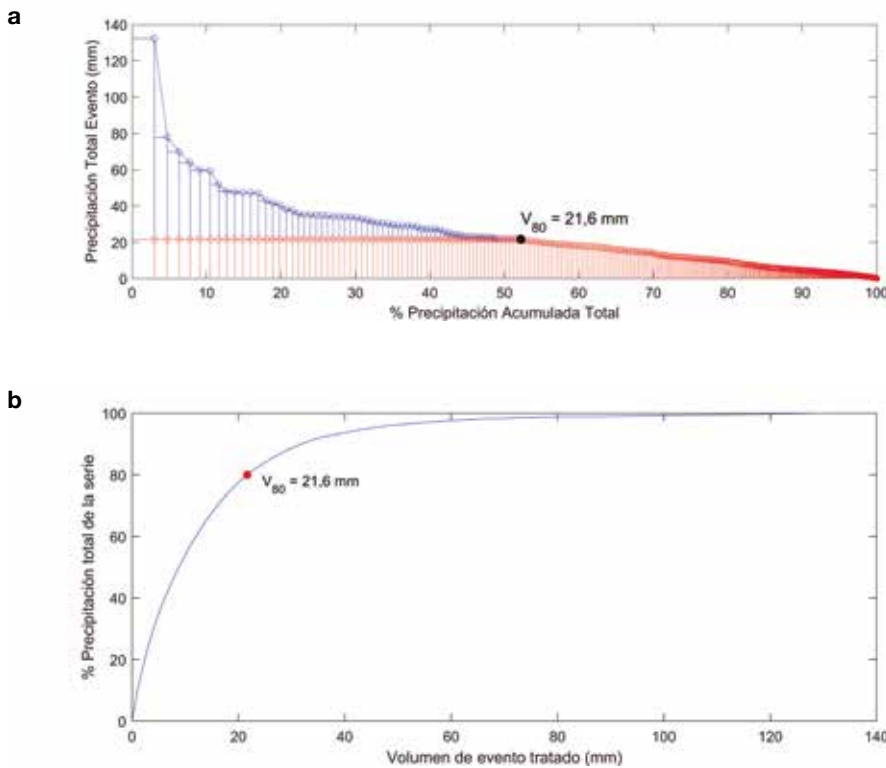


Fig. 2\_  $V_{80}$  atendiendo al volumen total a gestionar. a) La suma de las ordenadas de las líneas rojas representa el 80 % de la precipitación acumulada en la serie. La suma de las líneas azules indica el volumen de precipitación no gestionado. b) Representación del procedimiento iterativo para la obtención de  $V_{80}$

## 4 Percentiles de volumen según el volumen acumulado a gestionar

En este caso el  $V_{80}$  representa el valor umbral de precipitación tal que se acumula el 80 % del total de la lluvia en el período de análisis. Para obtener el valor de  $V_{80}$  se procedió de la siguiente manera:

- 1) Se identificaron todos los eventos de la serie continua de precipitación con paso de tiempo 10-minutal. Para el caso de la estación de Retiro se identificaron un total de 519 eventos.
- 2) Se ordenaron de mayor a menor en función de la precipitación total asociada a cada uno de ellos (figura 2a).

3) Para determinar el valor de  $V_{80}$ , se seleccionaron diferentes valores de volumen de episodio que puede gestionar el sistema completamente y se calculó el porcentaje de precipitación acumulada total de la serie con valor igual o inferior a ese valor. A mayor  $V_{80}$ , el sistema será capaz de gestionar un mayor porcentaje de eventos en su totalidad y, en consecuencia, un mayor porcentaje de la precipitación total acumulada. Para el caso de Madrid-Retiro el valor obtenido de  $V_{80}$  fue 21,6 mm. (figura 2b) considerando todos los eventos (umbral = 0 mm).

En este caso, también se analizaron tres hipótesis de umbral de volumen de lluvia mínimo: 0 mm (sin descartar episodios), 0,5 mm y 1 mm. En este procedimiento, los valores obtenidos fueron 21,6 mm para umbral 0 y 0,5 mm y 21,8 mm para un umbral de 1 mm.

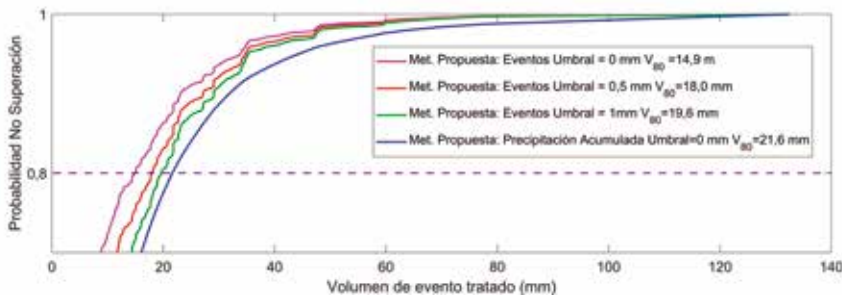


Fig. 3\_ Comparativa de las leyes de frecuencia y valores de  $V_{80}$  obtenidos por las distintas metodologías expuestas en el análisis

# 5

## Análisis comparativo de resultados

En la figura 3 se muestran los valores obtenidos resultantes de aplicar las distintas metodologías mencionadas para el caso de la estación de Madrid-Retiro. El rango de valores de  $V_{80}$  para este caso varía entre 14,9 mm (aplicando criterio del número de eventos con un umbral = 0 mm) y 21,6 mm (aplicando el análisis de la precipitación acumulada a la serie 10-minutal). El valor de volumen del hietograma de diseño tiene una gran dependencia de la metodología utilizada:

- En el caso de la metodología propuesta por eventos a partir de datos 10-minutales, se observó que los valores obtenidos están fuertemente condicionados por el umbral de volumen mínimo de precipitación para considerar una tormenta en el análisis.

- En el caso de la metodología propuesta a partir de la precipitación acumulada con datos 10-minutales, el procedimiento tiene una mayor complejidad, pero es más estable en los valores obtenidos (los valores se encuentran entre 21,6 y 21,8 mm).

Esto es debido a que, al tratarse de la precipitación total acumulada, los eventos de baja precipitación apenas representan valores respecto al total de la precipitación. Sin embargo, al hacer el análisis por eventos, la “ley de frecuencia” se desplaza, porque en ese caso lo que influye es el número de eventos y no la precipitación que representan.

Por otro lado, cabe destacar que el utilizar un percentil u otro tiene mucha trascendencia en el dimensionamiento de los SUDS. Así, por ejemplo, en el caso de la metodología propuesta por eventos a partir de datos 10-minutales, se observó que los valores obtenidos tomando un umbral igual a 0 mm, son:  $V_{50}$ =4 mm;  $V_{80}$ =15 mm;  $V_{85}$ =19 mm;  $V_{90}$ =23 mm;  $V_{95}$ =34 mm; y  $V_{98}$ =47 mm. Si se toma un umbral igual a 1 mm, los valores son:  $V_{50}$ =6 mm;  $V_{80}$ =20 mm;  $V_{85}$ =23 mm;  $V_{90}$ =29 mm;  $V_{95}$ =35 mm y  $V_{98}$ =48 mm. En el caso de la metodología a partir de la precipitación acumulada, tomando el umbral igual a 0 mm, los valores obtenidos son:  $V_{50}$ =9 mm;  $V_{80}$ =22 mm;  $V_{85}$ =26 mm;  $V_{90}$ =32 mm;  $V_{95}$ =44 mm y  $V_{98}$ =61 mm.

# 6

## Conclusiones

A partir de las metodologías presentadas en este documento, se observa que existe una variabilidad importante en la estima-

ción del valor de diseño  $V_{80}$  en función de los criterios utilizados. En el caso de estudio y para las alternativas analizadas:

- El criterio por eventos depende fuertemente del umbral mínimo de volumen de precipitación considerado como evento. Asimismo, aunque en este estudio se asumió 24 h como tiempo mínimo sin lluvia para considerar dos eventos independientes, esta duración es en sí misma una variable más a analizar.

- A medida que se aumenta el umbral mínimo de volumen de tormenta considerado en el análisis, aumenta el valor de  $V_{80}$  por el criterio de eventos.

- Aplicando el criterio que atiende al volumen acumulado total a gestionar, se observó un volumen de hietograma de diseño mayor que el criterio de número de eventos a gestionar para los umbrales mínimos de lluvia considerados. En este caso, la influencia del umbral mínimo de volumen de tormenta a considerar apenas afecta a los resultados. 📍

## AGRADECIMIENTOS

La investigación ha sido posible gracias a los datos proporcionados por la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) y los fondos de los fondos del Programa Propio de la Universidad Politécnica de Madrid mediante la convocatoria: “Ayudas para contratos predoctorales para la realización del doctorado en sus escuelas, facultad, centro e institutos de I+D+i”.

## REFERENCIAS

- Atlanta Regional Commission. (2016). Georgia Stormwater Management Manual. USA: Atlanta Regional Commission (ARC) in collaboration with AECOM, Center for Watershed Protection, Center Forward, Georgia Environmental Protection Division y Mandel Design.
- CYII (2016). Normas para Redes de Saneamiento. Versión 2. Canal de Isabel II. Madrid.
- City of Portland, 2016. Stormwater Management Manual. Portland Bureau of Environmental Services. USA.
- USEPA, 2008. Managing Stormwater in Your Community A Guide for Building an Effective Post-Construction Program. Environmental Protection Agency. Center for Water-shed Protection, Inc. EPA Publication No: 833-R-08-001. USA.
- Woods-Ballard B, Wilson S, Udale-Clarke H, Illman S, Scott T, Ashley R y Kellagher R, 2015. The SUDS Manual, C753. Ciria, London, UK.

# Pavimentos urbanos permeables



DANIEL  
**Jato-  
Espino**

Doctor en Ingeniería Civil.  
Grupo de Investigación de  
Tecnología de la Construcción  
(GITECO), Universidad de  
Cantabria

VALERIO C.  
**Andrés-  
Valeri**

Doctor en Ingeniería Civil.  
Instituto de Obras Civiles,  
Universidad Austral de Chile



JORGE  
**Rodríguez-  
Hernández**

Doctor en Ingeniería Civil.  
Grupo de Investigación de  
Tecnología de la Construcción  
(GITECO), Universidad de  
Cantabria

DANIEL  
**Castro-  
Fresno**

Doctor en Ingeniería Civil.  
Grupo de Investigación de  
Tecnología de la Construcción  
(GITECO), Universidad de  
Cantabria



## RESUMEN

La urbanización y el cambio climático son dos fenómenos que están transformando los procesos hidrológicos naturales. Los pavimentos permeables son un tipo de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) que ofrece una oportunidad para reducir los impactos de estos fenómenos, ayudando a restaurar el ciclo natural del agua y contribuyendo a hacer las ciudades más resilientes. En este artículo se presenta una descripción de la composición y principales tipos de pavimentos permeables, así como de los materiales comúnmente empleados para su construcción. Además, se incluye una breve reseña de los principales proyectos de investigación sobre pavimentos permeables realizados en España.

## PALABRAS CLAVE

Gestión del agua, materiales de construcción, pavimentos permeables, Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible

## ABSTRACT

*Urbanisation and Climate Change are two processes altering natural hydrological patterns in catchments. Permeable pavements are a type of Sustainable Urban Drainage Systems (SUDS) providing an opportunity to reduce the effects of both these phenomena by helping to restore the water cycle and contributing to make more resilient cities. This article presents a description of the composition of the main types of permeable pavements, including the materials commonly used for their construction. In addition, an overview of the main research projects concerning the study and implementation of permeable pavements in Spain is provided too.*

## KEYWORDS

*Water management, construction materials, permeable pavements, Sustainable Urban Drainage Systems*



# 1

## Introducción

Los pavimentos cubren alrededor del 30 %-45 % de las superficies urbanas (Akbari et al., 2009). Por tanto, su gestión es fundamental en el bienestar social. De hecho, su relevancia está destinada a crecer en el futuro, dado que los pavimentos urbanos pueden desempeñar un papel decisivo en la mitigación de dos de los mayores desafíos de los próximos años: la urbanización y el cambio climático (While and Whitehead, 2013).

El incremento en el grado de desarrollo de las superficies urbanas implica una reducción de la permeabilidad de la piel de las ciudades. Esto genera un aumento de la escorrentía, que es drenada sin tener en cuenta la recarga de las aguas subterráneas. Por otra parte, la severidad y frecuencia de las tormentas aumentará en el futuro debido al cambio climático, lo que puede sobrepasar la capacidad de los sistemas de drenaje convencionales (Huntington, 2006).

Los pavimentos permeables son uno de los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) más ampliamente estudiados como medida de mitigación de las amenazas anteriores (Jato-Espino et al., 2016a). De hecho, pueden considerarse como una cadena completa de drenaje, dado que actúan como sistemas de captación, conducción, infiltración y almacenamiento, facilitando el control de la escorrentía. Su multifuncionalidad hace que los pavimentos permeables sean el tipo de SUDS más efectivo y fácil de integrar en ciudades, pudiendo instalarse en espacios urbanos diversos como carreteras, zonas peatonales y aparcamientos (Jato-Espino et al., 2016b).

# 2

## Composición y tipos de pavimentos permeables

De abajo arriba, la sección transversal de un pavimento permeable consiste en una capa de sub-base que descansa sobre la explanada compactada, una capa base intermedia de granulometría abierta y una capa superficial permeable. Adicionalmente, se puede disponer un geotextil de filtro y separación entre capas, además de otros elementos como tuberías perforadas, geocompuestos, celdas de plástico o membranas impermeables.

Normalmente, la capa de sub-base consiste en árido triturado, natural o reciclado, limpio y con una cantidad reducida de partículas finas, a fin de asegurar un porcentaje de huecos de al menos un 35 % (Mullaney and Lucke, 2014). Otras opciones para la construcción de la capa de sub-base conside-

ran cajones de plástico de alta resistencia para su uso con tráficos ligeros (Andrés-Valeri et al., 2014), garantizando una elevada capacidad de almacenamiento de agua.

La capa base intermedia de granulometría abierta normalmente se compone de áridos de tamaño pequeño o medio (4-8 mm), con un contenido de huecos ligeramente superior al de la capa superficial para asegurar el flujo del agua. Los geotextiles pueden emplearse como capas de separación y refuerzo entre base y sub-base, mejorando además la capacidad de filtro y retención de los contaminantes depositados en su superficie. Por último, la capa superficial es la que admite un mayor abanico de acabados, incluyendo materiales porosos, adoquines y capas vegetadas reforzadas (Andrés-Valeri et al., 2014; Rodríguez-Hernández et al., 2016) (ver figura 1).

### 2.1. Pavimentos porosos

Los materiales porosos están constituidos por un esqueleto granular recubierto con un ligante, que define los dos tipos principales de superficies porosas existentes: asfalto poroso, aquellos con ligantes bituminosos, y hormigón poroso, si se usan ligantes hidráulicos. En ambos casos, las mezclas resultantes se diseñan con un porcentaje de huecos mínimo del 18 %-20 % para garantizar la capacidad hidráulica, empleándose, para ello, áridos de alta calidad con granulometrías abiertas y un bajo contenido de finos (Andrés-Valeri et al., 2016).

Los ligantes utilizados en mezclas bituminosas porosas incluyen betunes modificados con polímeros o con caucho y betunes de alta viscosidad (Rodríguez-Hernández et al., 2015). El contenido de betún en estos pavimentos normalmente oscila entre un 4.5 % y un 12 % en peso, dependiendo del tipo de ligante, del diseño de la mezcla y sus aditivos, así como del nivel de tráfico y las condiciones climáticas (Alvarez et al., 2011). A menudo se incorporan fibras estabilizantes para prevenir problemas de escurrimiento del betún (Andrés-Valeri et al., 2018). Otros materiales como cemento Portland, cal hidratada, filler calizo o fibras poliméricas también se emplean como adiciones para mejorar sus capacidades mecánicas y durabilidad.

Los pavimentos de hormigón poroso utilizan generalmente cemento Portland en combinación con diversos aditivos como superplastificantes, humo de sílice, modificadores de viscosidad e incorporadores de aire (Yang and Jiang, 2003; Andrés-Valeri et al., 2016). También existen experiencias con soluciones poliméricas, especialmente con látex poliméricos basados en polímeros tipo EVA (Yang and Jiang, 2003). El contenido de cemento suele exceder los 300 kg/m<sup>3</sup> para aplicaciones de tráfico y los ratios de agua/cemento generalmente están por encima de 0,4 en diseños convencionales, descendiendo hasta 0,2 cuando se incluyen aditivos o soluciones poliméricas en las mezclas.

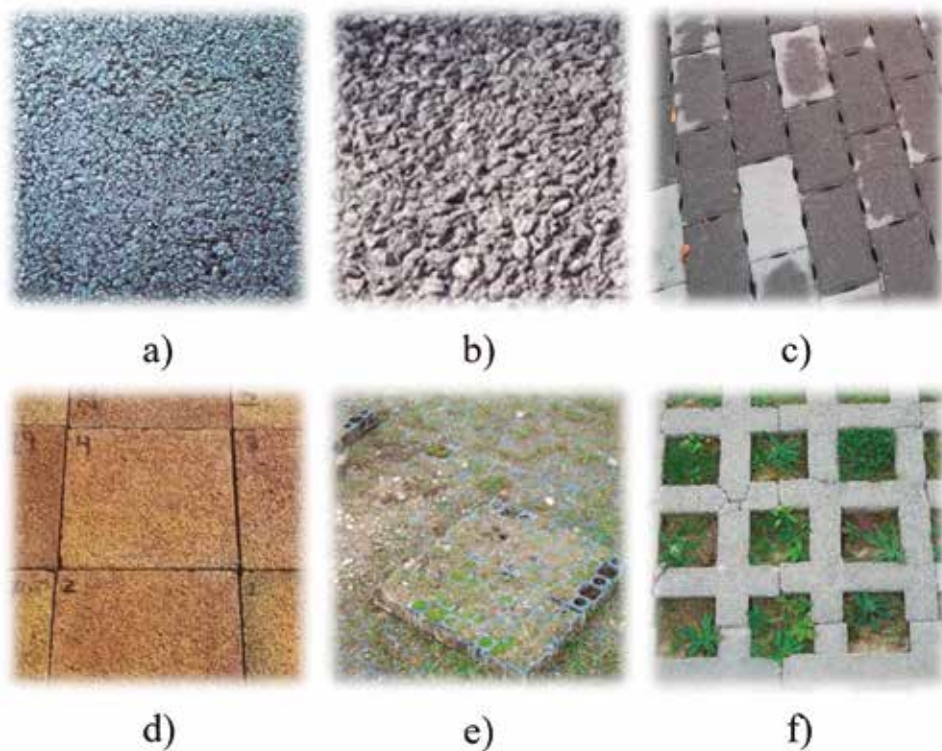


Fig. 1. Tipos de superficie en pavimentos permeables a) Asfalto poroso b) Hormigón poroso c) Adoquines impermeables con juntas abiertas d) Adoquines de hormigón poroso e) Césped reforzado con celdas de plástico f) Césped reforzado con celdas de hormigón

## 2.2. Pavimentos de adoquines

Los pavimentos permeables de adoquines pueden ser de adoquines impermeables con juntas abiertas o de adoquines porosos. El contenido de huecos en adoquines porosos normalmente sobrepasa el 20 %, mientras que las juntas en adoquines impermeables cubren entre el 8 % y el 20 % del área total del pavimento y pueden rellenarse con arenas de 2-5 mm (Mullaney and Lucke, 2014). Un beneficio distintivo de este tipo de pavimentos es su versatilidad estética.

Los adoquines porosos están fabricados con hormigón poroso reforzado con polímeros, cuya adición incrementa su resistencia a fatiga. Aun así, se ha demostrado que esta mejora es insuficiente en el caso de cargas de tráfico correspondientes a carreteras principales y autopistas (Scholz and Grabowiecki, 2007). Con todo, la alta porosidad de los adoquines favorece una mayor infiltración y ventilación.

## 2.3. Pavimentos de césped reforzado

El diseño y rol de las superficies de césped reforzado con celdas de plástico u hormigón guarda importantes diferencias en comparación con los tipos de pavimento descritos con anterioridad, especialmente en lo que se refiere a su área impermeable. Los refuerzos de hormigón presentan un área permeable que oscila entre el 20 % y el 50 % mientras en los refuerzos de plástico puede sobrepasar el 90 % (Mullaney and Lucke, 2014).

Los materiales utilizados para rellenar los huecos en las retículas de plástico y hormigón se componen de una combinación de áridos y materia orgánica para garantizar una adecuada capacidad de infiltración y servir de soporte para el desarrollo de vegetación. La cobertura de césped debe consistir en vegetación disponible a escala local, capaz de resistir concentraciones elevadas de contaminación y falta de agua, dado que esta capa a menudo se ve sujeta a condiciones de calor que pueden reducir su vida útil.

Año	Proyecto	Objetivos
2003 <sup>1</sup>	Desarrollo de nuevas estructuras de firmes biodegradantes de hidrocarburos (FIDICA)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Estudio de distintas secciones permeables</li> <li>Utilización de áridos reciclados</li> <li>Análisis de la biopelícula en la capa de geotextil</li> </ul>
2006 <sup>1</sup>	Diseño, investigación de la ejecución e instrumentación de un aparcamiento construido con firmes filtrantes biodegradantes de hidrocarburos	<ul style="list-style-type: none"> <li>Diseño y construcción del aparcamiento de Las Llamas en Santander, con 45 plazas combinando 5 superficies permeables y 3 geotextiles diferentes</li> <li>Monitorización de la cantidad y calidad del agua</li> </ul>
2009 <sup>1</sup>	Diseño, monitorización y seguimiento de un aparcamiento filtrante construido con escorias y residuos de acería	<ul style="list-style-type: none"> <li>Construcción e instrumentación de 8 plazas de aparcamiento con una capa de base construida con escorias de acería en Gijón</li> <li>Monitorización de la calidad del agua</li> </ul>
2010 <sup>1</sup>	Desarrollo de sistemas de captación y almacenamiento de agua de lluvia, mediante firmes filtrantes en aparcamientos, para usos no potables y como aprovechamiento de energía geotérmica de baja entalpía (VEA)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Análisis de la capacidad de captación de agua de lluvia por parte de los firmes permeables</li> <li>Desarrollo de sistemas de almacenamiento con propósitos no-potables o geotérmicos</li> </ul>
2013 <sup>1</sup>	Rehabilitación hidrológica de infraestructuras viales urbanas (RHIVU)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Análisis mecánico e hidrológico de diferentes pavimentos urbanos permeables</li> <li>Diseño de un sistema espacial de apoyo a la decisión para la rehabilitación de infraestructuras urbanas</li> </ul>
2013 <sup>2</sup>	<i>Improvement of energy efficiency in the water cycle by the use of innovative storm water management in smart Mediterranean cities (E<sup>2</sup>STORMED)</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Construcción y monitorización de un aparcamiento en Benaguasil</li> <li>Desarrollo de una herramienta de toma de decisiones para planificar el drenaje sostenible</li> </ul>
2013 <sup>3</sup>	Gestión sostenible de aguas pluviales en zonas urbanas	<ul style="list-style-type: none"> <li>Construcción de una planta piloto de tres tipos de superficie permeable</li> <li>Monitorización y modelización de la cantidad de agua</li> </ul>
2016 <sup>4</sup>	Superficies urbanas permeables, resilientes, inteligentes y sostenibles (SUPRIS)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Estudio experimental de diferentes pavimentos permeables bajo condiciones de cambio climático</li> <li>Evaluación de la contribución a la sostenibilidad urbana de los pavimentos permeables</li> </ul>
2017 <sup>2</sup>	<i>Ceramic Sustainable Urban Drainage System (CERSUDS)</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Diseño de un pavimento permeable construido con baldosas cerámicas con bajo valor comercial</li> <li>Implementación y monitorización de un demostrador en Benicasim</li> </ul>
2018 <sup>1</sup>	<i>Sustainable, accessible, safe, resilient, and smart urban pavements (SAFERUP!) – ESR10</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Diseño de pavimentos resilientes a las inundaciones y capaces de soportar cargas de tráfico moderadas</li> <li>Desarrollo de una herramienta de localización y selección de pavimentos permeables</li> </ul>

(1) Liderados por GITECO-UC - <https://www.giteco.unican.es/ES/proyectos.shtml>

(2) Liderados por IAMA-UPV - <https://www.iama.upv.es/iama/es/investigacion/proyectos-europeos.html>

(3) Liderado por la UGR - [http://www.aopandalucia.es/innovacion/principal.asp?alias=Aguas\\_pluviales](http://www.aopandalucia.es/innovacion/principal.asp?alias=Aguas_pluviales)

(4) Coliderado por GITECO-UC e IAMA-UPV - <https://www.giteco.unican.es/proyectos/SUPRIS/resumen.shtml>

Tabla 1. Resumen de los principales proyectos de investigación sobre pavimentos permeables realizados en España

# 3

## Pavimentos permeables en España

La primera investigación sobre pavimentos permeables en España data de 1995, encuadrada dentro del concepto de Técnicas Compensatorias de Infiltración-Retención (Tecir) (Malgrat, 1995), donde se destacó el potencial de reducción y depuración de escorrentía de estos sistemas. En paralelo, Temprano González et al. (1996) clasificaron las Tecir en medidas estructurales y no estructurales, introduciendo el concepto de control en origen de la escorrentía por primera vez en España.

Fue en la siguiente década, coincidiendo con la adopción del término SUDS en España por parte del Grupo de Investigación de Tecnología de la Construcción (GITECO), cuando se desarrolló el primer proyecto de investigación específico sobre pavimentos permeables. Desde entonces, se han desarrollado más de 10 proyectos de investigación en distintas universidades, cuyo principal objetivo ha sido el estudio, análisis e implementación de los pavimentos permeables. La tabla 1 recoge algunos de los principales.

# 4

## Conclusiones

La investigación llevada a cabo sobre pavimentos permeables hasta la fecha demuestra que la integración de estos sistemas en el entorno urbano es viable y tiene una influencia positiva en la gestión de la cantidad y calidad de las aguas de escorrentía. Las capas de los pavimentos permeables ofrecen una oportunidad para valorizar residuos y subproductos industriales, permitiendo mejorar la capacidad portante y de almacenamiento de agua de estos sistemas.

Los pavimentos permeables se postulan como una potente herramienta para la mitigación de los efectos del Cambio Climático y la urbanización, dos de los aspectos que comprometen en mayor medida el desarrollo sostenible de las sociedades futuras. Por tanto, la implementación de estos sistemas debe considerarse en el diseño de planes y estrategias urbanas orientadas a salvaguardar el medio ambiente y asegurar el bienestar humano. 🌐

## REFERENCIAS

- Akbari H., Menon S., Rosenfeld A. (2009). *Global cooling: increasing worldwide urban albedos to offset CO<sub>2</sub>*. *Clim Change* 94:275–286.

- Álvarez A. E., Martín A. E., Estakhri C. (2011). *A review of mix design and evaluation research for permeable friction course mixtures*. *Constr Build Mater* 25:1159–1166.

- Andrés-Valeri V., Marchioni M., Sañudo-Fontaneda L., Giustozzi F., Becciu G. (2016). *Laboratory Assessment of the Infiltration Capacity Reduction in Clogged Porous Mixture Surfaces*. *Sustainability* 8:751.

- Andrés-Valeri V. C., Castro-Fresno D., Sañudo-Fontaneda L. A., Rodríguez-Hernández J., Ballester-Muñoz F., Canteras-Jornada, J. C. (2014). *Rehabilitación hidrológica urbana*. In: REHABEND. pp 291–298

- Andrés-Valeri V. C., Rodríguez-Torres J., Calzada-Pérez M. A., Rodríguez-Hernández J. (2018). *Exploratory study of porous asphalt mixtures with additions of reclaimed tetra pak material*. *Constr Build Mater* 160:233–239.

- Huntington T. G. (2006). *Evidence for intensification of the global water cycle: Review and synthesis*. *J Hydrol* 319:83–95. doi: 10.1016/j.jhydrol.2005.07.003

- Jato-Espino D., Charlesworth S., Bayon J., Warwick F. (2016a). *Rainfall-Runoff Simulations to Assess the Potential of SuDS for Mitigating Flooding in Highly Urbanized Catchments*. *Int J Environ Res Public Health* 13:149.

- Jato-Espino D., Sillanpää N., Charlesworth S. M., Andrés-Doménech I. (2016b). *Coupling GIS with Stormwater Modelling for the Location Prioritization and Hydrological Simulation of Permeable Pavements in Urban Catchments*. *Water (Switzerland)*.

- Malgrat P. (1995). *Panorámica general de la escorrentía de aguas pluviales como fuente de contaminación. Actuaciones posibles; Calidad de aguas e impacto en medios receptores por vertidos procedentes de drenajes urbanos y agrícolas*. In: Workshop Benicassim. Benicassim (España).

- Mullaney J., Lucke T. (2014). *Practical Review of Pervious Pavement Designs*. *CLEAN - Soil, Air, Water* 42:111–124. doi: 10.1002/clean.201300118

- Rodríguez-Hernández J., Andrés-Valeri V. C., Calzada-Pérez M., et al. (2015). *Study of the Raveling Resistance of Porous Asphalt Pavements Used in Sustainable Drainage Systems Affected by Hydrocarbon Spills*. *Sustainability* 7:16226–16236.

- Rodríguez-Hernández J., Andrés-Valeri V. C., Ascorbe-Salcedo A., Castro-Fresno D. (2016). *Laboratory Study on the Stormwater Retention and Runoff Attenuation Capacity of Four Permeable Pavements*. *J Environ Eng* 142:4015068.

- Scholz M., Grabowiecki P. (2007). *Review of permeable pavement systems*. *Build Environ* 42:3830–3836.

- Temprano González J., Gabriel Cervigni M., Suárez López J., Tejero Monzón J. I. (1996) *Contaminación en redes de alcantarillado urbano en tiempo de lluvia: Control en origen*. *Rev Obras Publicas* 45–57

- While A., Whitehead M. (2013) *Cities, Urbanisation and Climate Change*. *Urban Stud* 50:1325–1331.

- Yang J., Jiang G. (2003) *Experimental study on properties of pervious concrete pavement materials*. *Cem Concr Res* 33:381–386.

# MÁSTER INTERNACIONAL EN EMPRESA Y POLÍTICAS PÚBLICAS [ MIEPP ]

*Liderar el desarrollo global  
en los mercados de infraestructuras*

FORMATO EXECUTIVE BILINGÜE ESPAÑOL-INGLÉS

**DIPLOMA CONJUNTO**

**École des Ponts ParisTech**

**Universidad Internacional Menéndez Pelayo**

**Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos**

## ⇒ DIRIGIDO A

Ingenieros que han de asumir responsabilidades como directores de grandes proyectos, sectores o áreas geográficas.

## ⇒ OBJETIVOS

Reforzar **competencias en gestión (empresarial y de proyectos), habilidades comerciales**, conocimientos sobre **políticas públicas** (principal fuente de actividad en nuestro sector), habilidades transversales (**comunicación, negociación, liderazgo, trabajo en equipo...**).

## ⇒ FORMATO

Un **año académico** a partir de octubre, **executive** (viernes completos y uno de cada dos sábados por la mañana).

Las clases, en **español e inglés**, se impartirán en Madrid.

**Ayudas de transporte** de la Fundación de hasta 1.500€ para alumnos que residen fuera de Madrid.

Se realizarán **3 viajes de estudios**.

## ⇒ MATRÍCULA

**11.200 €** (condiciones especiales para ingenieros de Caminos colegiados).

**CANDIDATURAS HASTA EL 13 DE MAYO DE 2019**

## MÁS INFO Y CANDIDATURAS: [www.miepp.eu](http://www.miepp.eu)

Con la colaboración de:



Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible y sus usos complementarios como garantes de la accesibilidad universal en

# la urbanización del Estadio Wanda Metropolitano

**JUAN  
Fisac**

Ingeniero de Caminos,  
Canales y Puertos.  
IGB Ingeniería Básica



**SARA  
Perales-  
Momparler**

Doctora Ingeniera de Caminos,  
Canales y Puertos.  
Consejera delegada de Green Blue  
Management

## RESUMEN

La obra de urbanización y equipamiento de aparcamientos de superficie en el entorno del Estadio Wanda Metropolitano se desarrolla sobre una superficie de viario de 177.400 m<sup>2</sup>. Mediante el empleo de pavimentos permeables se garantiza la gestión en origen de la escorrentía generada en el 62 % de esa superficie. Con ello se consigue reducir en más del 60 % (respecto a una solución de pavimentación impermeable) los caudales pico vertidos al sistema general de alcantarillado, reduciendo el riesgo de superación de capacidad de la red, y por ende, descargas del sistema unitario al medio receptor.

Las técnicas de drenaje sostenible utilizadas han servido también para mejorar las condiciones de accesibilidad al

Estadio, gracias a un vial horizontal de 360 m de longitud, cuyo drenaje se ha resuelto mediante la pavimentación con adoquines autoblocantes y losas prefabricadas drenantes por junta.

## PALABRAS CLAVE

Adoquín autoblocante, aparcamiento, hormigón poroso, laminación

## ABSTRACT

*The preparation and fitting out of the surface car parks around the Wanda Metropolitano Stadium was carried out over a road-surfaced area of 177,400 m<sup>2</sup>, and guaranteed the management at source of the run-off generated over 62% of this surface by the use of permeable pavements. The employment of these systems served to reduce the peak*

*flows spilled into the general drainage system by over 60% (with respect to the traditional impermeable pavement solution), and thereby reduced the risk of over-burdening the drainage network capacity and, subsequently, overflows from the unit system into the receiving environment.*

*The sustainable drainage techniques employed have also served to improve the accessibility to the Stadium, by means of a 360 m long horizontal approach road, drained by interlocking pavement blocks and precast slabs with drainage joints.*

## KEYWORDS

*Interlocking blocks, car park, porous concrete, lamination*



Fig. 1\_ Planta general de la actuación. La escorrentía de las superficies remarcadas es gestionada en origen mediante pavimentos permeables

# 1 Descripción general

La urbanización del entorno del Estadio Wanda Metropolitano fue promovida por el Atlético de Madrid S.A.D. a lo largo del año 2017. Supuso una inversión superior a 38 millones de euros, cuya ejecución fue inspeccionada por el Ayuntamiento de Madrid, titular de la infraestructura una vez recibidas las obras.

Considerando que el sistema general de alcantarillado era unitario, para evitar que las nuevas aportaciones supusieran un riesgo de capacidad a la red y las descargas del sistema unitario al medio receptor, se consideró conveniente laminar las avenidas, gestionando en origen la mayor parte de la superficie de viario proyectada. Concretamente, 108.000 m<sup>2</sup> de los 177.400 m<sup>2</sup> de viario y aparcamientos ejecutados.

El estadio Wanda Metropolitano se ha ejecutado sobre el antiguo estadio de La Peineta, lo que ha supuesto ciertos condicionantes de diseño, especialmente en lo que respecta a la promoción de la accesibilidad universal, puesto que en la fachada norte existe un fuerte desnivel respecto a la rasante del viario que impide el acceso por ese lado, mientras que el acceso a la parcela por la fachada oeste queda limitado a tres puntos en los que existen escaleras. Por todo ello, se potenció la accesibilidad sin obstáculos desde las

fachadas sur y este, de forma que la alineación entre la vía pública y las parcelas conformaran una misma rasante sin desniveles, para lo cual fue necesario proyectar el vial este, de 33.100 m<sup>2</sup> sin pendiente longitudinal, encauzando la escorrentía superficial mediante el bombeo transversal de la sección viaria, para lo cual, ambas aceras y bandas de aparcamiento, fueron pavimentadas con despieces de adoquines autobloqueantes y losas prefabricadas de hormigón, permeables por junta.

Como se deduce de la fig. 1, la superficie total del viario y aparcamientos en los que se realiza la gestión en origen de la escorrentía, laminando la avenida previamente a la incorporación a la red general de colectores, es de 108.000 m<sup>2</sup>. La superficie neta permeable, ya sea mediante permeabilidad por junta u hormigón poroso, es de 63.100 m<sup>2</sup>.

Debido a los condicionantes geotécnicos del terreno, en el que existió una explotación minera de sepiolita que posteriormente fue rellenada con excedentes de otras obras, se detectaron riesgos de asientos importantes, así como presencia puntual de "niveles activos" con cierto grado de expansividad, por lo que en el proyecto se contempló potenciar la laminación, pero no la infiltración, debido al riesgo de incrementar, en este último caso, la problemática geotécnica.

El cálculo hidráulico del drenaje se ha realizado para un periodo de retorno de 10 años, considerando distintos epi-

sodios, tanto cortos e intensos como otros de menor intensidad y mayor duración, que pudieran suponer mayor precipitación acumulada y por tanto mayor volumen de laminación. Además, para comprobar la solvencia de la solución proyectada, una vez dimensionada se modelizó utilizando la discretización diez-minutal de la precipitación de un año tipo, en este caso el 2007 de la estación meteorológica "Madrid-Retiro" (con una precipitación anual de 406 mm, que registró un evento, el día 27 de marzo, cuya intensidad pico fue de 72 mm/h, superior a la de diseño de periodo de retorno 10 años), obteniendo resultados satisfactorios. La modelización se llevó a cabo con el empleo de software especializado, mediante un modelo matemático que resuelve las ecuaciones de flujo no permanente de la red/sistema para las lluvias especificadas, contemplando la retención temporal en origen del agua de lluvia, su infiltración al terreno y/o su evacuación laminada hacia el punto de vertido.

Para la lluvia de diseño de duración 15 minutos e intensidad 60,2 mm/h, considerando una solución de pavimentación convencional con drenaje tradicional se podrían llegar a presentar caudales punta próximos a 1.350 l/s, mientras que adoptando soluciones para gestionar en origen la cuenca, los valores se reducen hasta 490 l/s. Esta gran reducción supone un claro beneficio, en tanto en cuanto las descargas al medio receptor desde los sistemas unitarios se verán drásticamente reducidas.



Fig. 2\_ De izquierda a derecha y de arriba abajo: geotextil impermeable en coronación de explanada; subbase de grava de 35 cm de espesor; geotextil no tejido 100% polipropileno de fibra virgen; 5 cm de gravillín; capa de rodadura de 20 cm de espesor de hormigón drenante

## 2 Descripción de los pavimentos permeables

La solución adoptada para garantizar el volumen de regulación necesario ha consistido en el desarrollo de secciones de firme permeable. Distinguiendo, en función de su localización, dos firmes tipo:

- Pavimento de hormigón drenante in situ en los aparcamientos de superficie.
- Pavimento prefabricado permeable por junta en aceras y aparcamiento de viario.

La naturaleza, granulometría y limpieza de los áridos utilizados en los firmes permeables constituye la base fundamental para garantizar la capacidad drenante (en este caso fueron suministrados por Áridos de Melo, S.L.).

La sección de firme de los aparcamientos está compuesta por las siguientes capas:

- Hormigón drenante de 20 cm de espesor. Las especificaciones exigidas a la capa de rodadura comprendían una resistencia a compresión mayor de 15 MPa con un porcentaje de huecos efectivos superior al 20%.
- Capa base de gravillín (AG-R-4/11-S-L) de 5 cm de espesor.
- Geotextil de polipropileno 100% virgen no tejido con función filtro/separadora (en este caso se empleó el Geotesan NT-13).
- Subbase de grava de 35 cm de espesor, con un índice de huecos del 40%, a la que se le exigió un Índice de Plasticidad “no plástico”, densidades mínimas compactadas del orden de 1,90 gr/cm<sup>3</sup> y coeficiente de permeabilidad mínimo de 300 x 10<sup>-2</sup> cm/s. La función fundamental de esta capa es garantizar el volumen de retención mínimo resultante del cálculo hidráulico, y aportar a su vez la capacidad portante requerida en cada caso

- Geotextil impermeable realizado con fibras 100% de polipropileno, dotado de una película impermeable. Se trata de una solución sencilla y económica, adecuada cuando las condiciones de impermeabilidad no son determinantes.

La figura 2 presenta un montaje fotográfico en el que se recorre el proceso constructivo de los aparcamientos

En las zonas peatonales y aparcamientos adosados a acera, el firme empleado es de losas de hormigón y adoquines prefabricados, en las que la capacidad drenante se encausa a través de las juntas del despiece. Para garantizar la promoción de la accesibilidad universal, la separación máxima entre juntas se proyecta de 7,5 mm, estando previsto el relleno de las mismas con gravillín AG-R-4/11-S-L.

Debido a las dimensiones de las juntas entre piezas se diseñó un pavimento específico, con separadores autoblocantes, de forma que se garantizase la solidez del conjunto, evitando el movimiento de las piezas. La mecanización y diseño industrial del sistema Fit-Block fue realizada por Quadro, fabricante y suministrador del solado.

La sección de los firmes peatonales y aparcamientos adosados a acera, está compuesta por:

- Losas y adoquines multiformato de 10 cm de espesor. Sistema autoblocante Fit-Block, dimensión de junta 7,5 mm.
- Capa de gravillín (AG-R-4/11-S-L) de 5 cm de espesor como regulación y asientos de los pavimentos prefabricados de hormigón.
- Geotextil de polipropileno 100% virgen no tejido con función filtro/separadora (Geotesan NT-13).
- Subbase de hormigón permeable de 8 cm de espesor, a modo de estructura de transporte subsuperficial de la escorrentía.
- Base de asiento de hormigón hidráulico HN-15/P/40.



La escorrentía captada por el pavimento se conduce mediante celdas planas Atlantis de 52 mm de espesor, colocadas en vertical, hacia los depósitos de laminación realizados con celdas Hidrobox (fig. 3).

### 3 Conclusión

La solución drenaje sostenible adoptada en la urbanización del entorno del estadio Wanda Metropolitano no sólo ha garantizado viabilidad al desarrollo, permitiendo la incorporación de los nuevos caudales al sistema general de alcantarillado existente, sin necesidad de abordar inversiones de incremento de capacidad y evitando nuevos alivios al medio receptor, sino que ha resuelto los problemas de accesibilidad que suponía el emplazamiento.

El estadio Wanda Metropolitano dispone de una capacidad de 68.000 localidades aproximadamente, lo que aconsejaba la máxima permeabilidad exterior. Las técnicas de drenaje urbano sostenible adoptadas han permitido compatibilizar las rasantes del viario público circundante a la parcela del equipamiento deportivo, eliminando el desnivel inicialmente previsto en la alineación este, lo que limitaba el acceso a diversos tramos de escaleras como sucede en los accesos desde el oeste.

Si bien los accesos desde el oeste y el norte quedaban condicionados por la reconversión del estadio de La Peineta al nuevo Wanda Metropolitano, el proyecto de urbanización), ha permitido la accesibilidad peatonal a lo largo de toda la alineación este de la parcela, adaptando para ello la rasante del viario, siendo necesario ejecutar un tramo de 360 m sin pendiente longitudinal. Tal y como se aprecia en la Imagen 4, se trata de un acceso especialmente importante, puesto que es el área reservada al aparcamiento de los autobuses de las peñas, a través del cual una parte importante de los aficionados accederán al Estadio. 📍



Fig. 3\_ Detalles generales de la ejecución de los firmes permeables por junta. Celdas planas y celdas reticulares envueltas por lámina EPDM a modo de depósito de detención; gravillín de asiento sobre geotextil y hormigón permeable; pavimento de adoquines y losas multiformato, con junta autoblocante permeable



Fig. 4\_ Vista general fachada este (Fuente: FCC Construcción)

# Prologis Park Sant Boi

Una de las primeras grandes actuaciones  
de drenaje urbano sostenible en España

## MIGUEL ÁNGEL Gago Lara

Ingeniero Técnico Obras  
Públicas. Esp. Hidrología.  
Director de Proyectos de Redes  
Urbanas y Saneamiento. TYPESA



## MANUEL Gómez Valentín

Doctor Ingeniero de Caminos,  
Canales y Puertos.  
Universitat Politècnica de  
Catalunya



### RESUMEN

Repaso a una de las primeras grandes actuaciones de drenaje sostenible en España. Hace más de 20 años (1998) el grupo inmobiliario internacional ProLogis desarrolló la planificación del ProLogis Park Sant Boi (cerca de Barcelona). Se describen las características de la problemática planteada por la urbanización del sector y cómo fue resuelta en aquellos momentos embrionarios de las técnicas SUDS. Además, una vez construido en 2001, superó con éxito la prueba que generaron las fuertes lluvias de noviembre del 2002 que provocaron inundaciones en otros sectores próximos.

### PALABRAS CLAVE

Drenaje sostenible, cunetas verdes

### ABSTRACT

*The article reviews one of the first major sustainable drainage actions in Spain. Over 20 years ago (1998) the international real estate group ProLogis developed plans for the ProLogis Park Sant Boi (near Barcelona). The problems raised by the development of the area are outlined together with an indication of how these were resolved in these very early days of SUDS technology. Following construction in 2001, the system successfully passed the challenge posed by the heavy rains in November 2002 that led to serious flooding in neighbouring areas.*

### KEYWORDS

*Sustainable drainage, green ditches*

# 1

## Introducción

Hace más 20 años (1998) las técnicas de drenaje sostenible eran bastante desconocidas en España. En ese momento, un cliente francés solicitó un estudio de drenaje en el que sería uno de los parques logísticos más grandes que existían en ese momento. El cliente era el grupo internacional ProLogis, especialista en el sector inmobiliario logístico, cuyo interlocutor era un *project manager* francés que planteó un gran problema: el drenaje de una gran superficie en unos terrenos situados al borde del Delta de Llobregat.

El parque industrial ProLogis está situado en Sant Boi del Llobregat, un área económica de gran dinamismo situada en la desembocadura del río Llobregat, al lado de Barcelona y sus infraestructuras de transporte (aeropuerto, puerto y autopistas) que confieren a esta zona, antes y ahora, un gran potencial para la instalación de empresas de logística. Sin embargo, esta zona se sitúa geomorfológicamente sobre unos terrenos propensos a las inundaciones, donde el clima mediterráneo se caracteriza en los meses de septiembre y octubre por lluvias capaces de descargar más de 50 L/m<sup>2</sup> en menos de una hora. Este régimen pluviométrico provoca que los torrentes normalmente secos se conviertan en torrentes que bajan de las cercanas montañas de la sierra litoral. En su descenso hacia el río Llobregat, los torrentes se encuentran un delta, donde debido a la urbanización histórica han desaparecidos muchos cauces (denominados rieras o ramblas), creando insuficiencias drenantes que en aquel momento se podían catalogar de galopantes.

El eje drenante de la zona de proyecto era un canal de drenaje artificial llamado Riera Roja (nombre de una antigua riera de la zona), que recogía diferentes ejes drenantes de la ciudad de Sant Boi y que ya se encontraba al límite de su capacidad de transporte. De hecho, ya había habido inundaciones en las partes bajas de la cuenca.

Además de todo lo anterior, el inversor francés planteó también unos criterios de implantación que parecían no venir de un inversor inmobiliario al uso:

*“Quería evitar la solución tradicional de hacer grandes infraestructuras de drenaje y demandaba que la implantación tuviera un alto grado de sostenibilidad, añadiendo que esta filosofía comportaría una solución más económica y que era importante que la solución destacara por su excelencia en la gestión ambiental, la responsabilidad social, la ética y la gobernanza del agua.”*

Todos esos valores que ahora están en el centro de cualquier decisión, hace 20 años, eran realmente innovadores en España.

Dado la poca experiencia que existía en aquella época, sobre el único programa que permitía calcular en cierta manera la problemática de una red compleja de colectores y tener en cuenta la laminación, se buscó la colaboración del Doctor Ingeniero Manuel Gómez Valentín, que había realizado diferentes publicaciones sobre el tema y que pertenecía a la Universitat Politècnica de Catalunya.

Para realizar los cálculos de la actuación se utilizó la versión SWMM 4, donde los datos se debían introducir formateados en un archivo .txt. Las modernas versiones con soporte GIS, han reducido en gran medida el tiempo necesario para el pre y post proceso de datos.

# 2

## Descripción de la actuación

La problemática que se afrontaba era drenar un área de unas 30 hectáreas en forma de un gran rectángulo de 1000 metros de largo y 300 metros de ancho, prácticamente planas, donde se integrarían grandes naves de logística de 200 x 100 metros cada una, con grandes zonas de vialidad y aparcamiento, que solo podían desaguar por los extremos de cada sector. Los primeros resultados empujaban la solución hacia grandes colectores de hormigón fuertemente armados al no poder enterrarlos suficientemente debido a las conexiones finales con los ejes drenantes existentes, todo ello complicado por el aviso del Ayuntamiento de Sant Boi de Llobregat que los colectores existentes ya habían presentado problemas de capacidad sin la integración de esta nueva pastilla urbana. De hecho, el ayuntamiento no permitía la conexión del drenaje del nuevo polígono industrial a la red de alcantarillado del municipio, salvo que se asegurara que no generaba problemas de inundación en la zona urbana.

La respuesta vino de analizar normativas de urbanización en Francia, que en resumen venían a decir que el drenaje de nuevas zonas no debería producir incrementos de caudales en los ejes drenantes ya construidos. La única solución era la laminación, pero no solo en terreno público, como a veces se había hecho anteriormente, sino en zona privada. En la figura 1 pueden verse en azul la distribución de las cunetas en parte del sector ocupando parte de la parcela privada.

Otro criterio de diseño importante fue asumir una red separativa, de modo que las aguas residuales que se producían en el polígono tenían su propio conducto, de tamaño reducido, y las aguas pluviales se transportaban por otro lado, pero que, dado el diseño de la solución, con cunetas verdes, resultaba económicamente muy favorable al reducirse la longitud de conductos enterrados.

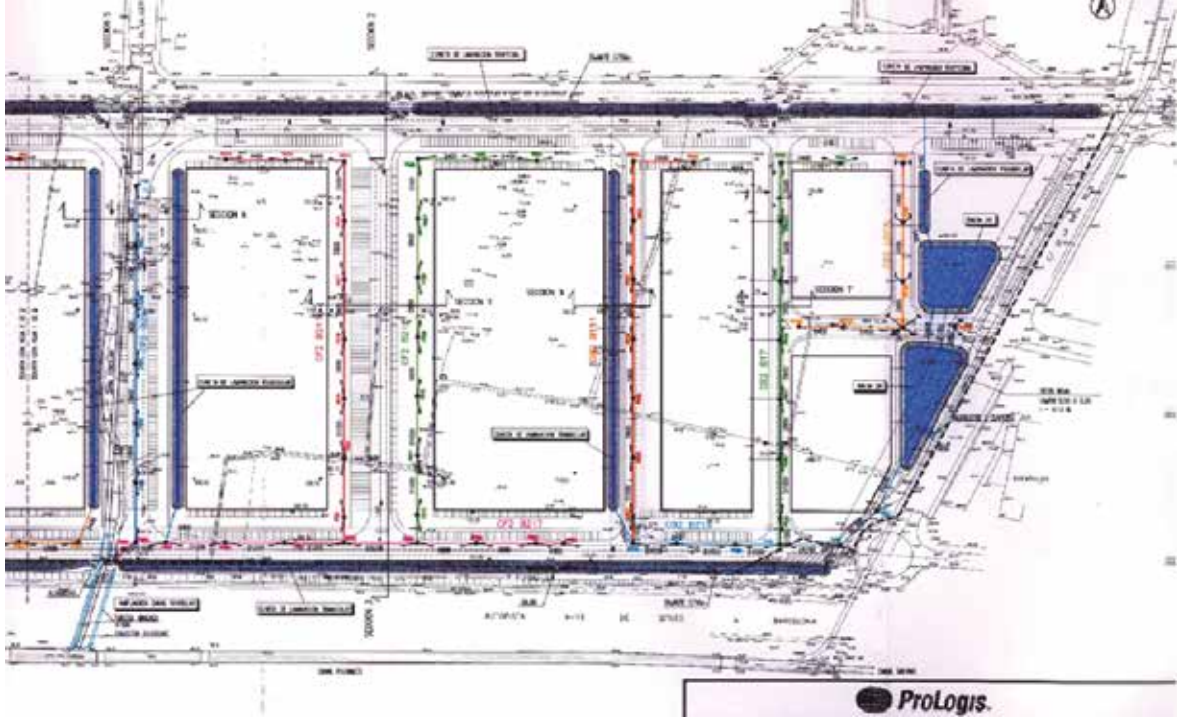


Fig. 1\_ Polígono logístico Prologis Sant Boi

El promotor estuvo de acuerdo en sacrificar parte de sus zonas de aparcamiento, para que todas las aguas provenientes de las grandes cubiertas impermeables de las naves acabaran en cunetas verdes (ver figura 2) que bordeaban cada una de estas. El vial principal del sector se drenó a la mediana de la calle principal, creando una gran cuneta verde de 1.000 metros de longitud, que solo interrumpían viales secundarios que eran salvados con tuberías de diámetro reducido para favorecer la retención del agua en la propia cuneta. Las aguas de los viales eran conducidas a tanques separadores de grasas antes de ser vertidas a pequeñas balsas que finalmente se conectaban al medio receptor a través de aliviaderos sencillos realizados con secciones de pozos prefabricados.



Fig. 2\_ Cunetas de laminación paralelas a las naves industriales

Este modo de afrontar el problema llevó a una disminución enorme de la inversión prevista en grandes colectores, sustituidos por cunetas de 5 metros de ancho y 75 cm de profundidad que podían en conjunto asumir la lluvia de diseño T10 (ver detalle en la figura 3) aunque en la revisión que a posteriori hizo la Agencia Catalana del Agua se analizó lo que sucedería ante una lluvia de T100. Esta última comprobación, que inicialmente parecía exagerada, fue con posterioridad acertada, ya que no se pedía que el sistema funcionase a la perfección para estos caudales, sino que la inundación provocada no fuese crítica para ningún sistema esencial de la ciudad. En años y proyectos posteriores, estas comprobaciones para eventos extraordinarios se realizan ahora bajo el epígrafe de medidas para el aumento de la resiliencia de las infraestructuras urbanas frente a eventos meteorológicos extremos (o simplemente frente al cambio climático).



Fig. 3\_ Cunetas de laminación: elemento de regulación

La capacidad de almacenamiento en superficie necesaria para este sector en particular resultó ser de unos 500 m<sup>3</sup>/Ha; sin embargo, se ha de contextualizar este valor en función de la elevada impermeabilidad del sector, las grandes in-

tensidades de lluvia planteadas y la deficiente capacidad de desagüe. El volumen total de acumulación posible en el sector es de unos 15.000 m<sup>3</sup> lo que implicó en su momento unos costes por m<sup>3</sup> de agua almacenado de unos 40 €/m<sup>3</sup>, lo cual resultaba económico en comparación con los miles de metros de colector ahorrados.

### 3 Verificación del sistema constructivo y enseñanzas

La urbanización del sector acabó en 2001 no tardando la zona en experimentar lluvias intensas. En 2002 gran parte de Catalunya sufrió fuertes tormentas que produjeron inundaciones locales en Castelldefels, Viladecans y Sant Boi. Sin embargo, la zona de la nueva urbanización no padeció ninguna incidencia, cosa que pudo observarse al coincidir las lluvias con una visita a las obras cuando terminaba el evento y ver cómo habían funcionado las cunetas de retención y las zonas de balsas de laminación. Estas se encontraban entre el 70-80 % de su capacidad. En las figuras 2 a 4 se presentan varias fotografías tomadas días antes del evento y otras tomadas el día de la tormenta.



Fig. 4\_ Balsas de laminación al final de sistema durante las lluvias de 2002

Desde el seguimiento de la zona realizado en los últimos 20 años y mientras se han desarrollado otros proyectos en la zona del Área Metropolitana de Barcelona dentro de TYPESA, es posible afirmar categóricamente que las soluciones de drenaje sostenible, de diseño urbano sensible al agua, etc., son soluciones muy seguras, que tienen la máxima eficacia cuando son realizadas desde la fase de planeamiento de los terrenos y que pueden/deben ser combinadas con las soluciones más tradicionales según solucionen problemas específicos característicos de cada implantación.

Es curioso observar como las herramientas de modelización han mejorado mucho en cuanto a la entrada de datos, rapidez de cálculo, detección de errores, visualización de los resultados, etc., pero siguen estando basadas en modelos hidráulicos como onda cinemática, que ya tienen más de 100 años, y que siguen dependiendo de la calidad de los datos que se les introducen. Por este motivo, sigue siendo básico el que los ingenieros y otros técnicos (con la experiencia suficiente) supervisen tanto los datos de referencia como los resultados para que el producto resultante sea correcto desde todos los puntos de vista.

Aquí también, como en otras ramas, la transversalidad de los equipos, con técnicos de diferentes disciplinas: ingenieros civiles, arquitectos, geólogos, licenciados en medioambiente, también permite que los resultados puedan alcanzar la excelencia en la sostenibilidad de la actuación. 📍

# Evolución de los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible en Barcelona



## ROBERTO Soto

Arquitecto.

Dirección de proyectos y obras.  
Instituto Municipal de Urbanismo (IMU).  
Ayuntamiento de Barcelona

### RESUMEN

El presente artículo analiza la implantación y desarrollo de los SUDS en Barcelona a través de algunas de las obras realizadas entre el 2005 y 2018 por el Instituto Municipal de Urbanismo (IMU) antes BAGUR S.A. Barcelona Gestión Urbanística.

### PALABRAS CLAVE

Barcelona; evolución SUDS; metabolismo urbano; infraestructura verde

### ABSTRACT

*The present article analyses the impact and development of SUDS in Barcelona on the basis of a series of works performed between 2005 and 2018 by the IMU (Municipal Town Planning Institute), previously BAGUR S.A Barcelona Gestión Urbanística.*

### KEYWORDS

*Barcelona, SUDS development; urban metabolism, green infrastructure*

# 1

## Introducción

Estaría bien comenzar por analizar este concepto relativamente nuevo de SUDS (Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible) partiendo de la definición de cada uno de sus términos:

- Sistema: conjunto de elementos que, relacionados ordenadamente entre sí, contribuyen a un determinado objeto.
- Urbano: parte física o construida de una ciudad.
- Drenaje: evacuación de líquidos de un determinado lugar.
- Sostenible: capaz de sostenerse a sí mismo “sin perjudicar el entorno”.

Si aglutinamos de nuevo los términos, será algo así como “conjunto de elementos que relacionados ordenadamente entre sí, tienen como objeto evacuar los líquidos que puedan acumularse en la superficie de la urbe de tal modo que no perjudiquen a esta ni al medio ambiente”. O en otras palabras, “conjunto de técnicas que sirven para gestionar las aguas de escorrentía en la superficie urbana sin contaminar el medio ambiente”.

Es importante destacar la exclusiva vinculación de los SUDS a zonas urbanas e interurbanas conformadas básicamente por el binomio “edificación + espacio de interconexión”. Este binomio de lo construido y su conectividad se formaliza físicamente como una piel artificial que irrumpe en los procesos metabólicos naturales del entorno en el que se instala, generando una gran variedad de “problemas”; siendo el ciclo del agua uno de los flujos metabólicos más gravemente afectado por los métodos de gestión convencionales.

En cuanto a la idea de “sostenible”, adquiere todo el sentido en aquellos

entornos en los que un sistema artificial (la urbe) es susceptible de perjudicar el entorno (ej. la lluvia lava su superficie y colectores, vertiendo los residuos al medio), por tanto lo sostenible sería aplicar los mecanismos adecuados para que esto no se produzca.

No contamina, por el contrario, la lluvia que cae sobre áreas naturales, forestales, agrícolas (dejando de lado los pesticidas) zonas verdes periurbanas, etc. y, por tanto, no tiene demasiado sentido hablar de SUDS en estas áreas, aunque sí de los sistemas de drenaje que les son propios y atienden a otros problemas como la erosión, eutrofización, etc.

En relación a las zonas verdes en la ciudad empezamos a hablar de SUDS cuando éstas contribuyen en la gestión de la escorrentía de la cuenca construida, es decir que no solo “no” vierten agua al sistema unitario sino que retienen y gestionan la que aporta el entorno pavimentado y edificado. Que una zona verde en un entorno urbano no vierta agua al unitario, está muy bien, pero no es un SUDS ya que no contribuye a resolver los problemas que genera lo construido.

Si consideramos la ciudad como un organismo vivo (aunque artificial) cuyo metabolismo genera una serie de intercambios de energía y recursos con un entorno natural o seminatural, veríamos que estos son, en su mayoría, lineales (extraer, producir, usar, tirar), consumiendo gran cantidad de recursos y vertiendo ingentes cantidades de basura en el entorno.

El hecho de que los sistemas unitarios gestionen aguas residuales y pluviales implica, simultáneamente, dos situaciones igualmente negativas, sin entrar a cuantificar lo que hay de una y de otra.

Por una parte, si el sistema estuviese preparado para retener y depurar toda el agua de escorrentía, el coste sería inaceptable debido a la implementación de estructuras hipertrofiadas para contener y depurar estas aguas que en su origen

son limpias. Por otra parte, en el caso de que las depuradoras estén diseñadas para gestionar solo el volumen de aguas residuales en tiempo seco, la escorrentía generada en los períodos de lluvia irá directamente a través de los aliviaderos en forma de vertido contaminante a los medios receptores naturales. En la mayoría de las ciudades se produce una combinación de las dos situaciones pero ninguna de estas es deseable ni económica, ni social, ni medioambientalmente hablando.

La apuesta consiste en revertir este proceso lineal contribuyendo a cerrar el ciclo en lo que podríamos llamar metabolismo urbano circular, o más concretamente, limitando la generación de residuos en un acercamiento a los procesos naturales. En este sentido parece obvia la necesidad de separar las aguas residuales de las pluviales impidiendo que se mezclen.

Considero que construir, rehabilitar y transformar la ciudad en un sistema sostenible pasa por la inclusión de los SUDS como “alternativa” para la gestión de las pluviales a los sistemas unitarios para cumplir con los mismos objetivos cuantitativos; además de las ventajas cualitativas.

La construcción de sistemas unitarios está regulada en base a unos objetivos para períodos de retorno establecidos por los organismos competentes; en cambio no es así en los SUDS, ya que no existe ninguna exigencia reglada respecto a los objetivos en la gestión hidráulica, generando discrepancias entre los técnicos en cuanto al margen o utilidad que se les quiera dar. En este punto se corre el riesgo de caer en acciones simbólicas de baja o nula eficacia hidráulica pero que tienen a su favor una apariencia relativamente naturalizada, como es el caso de:

- Los pavimentos permeables (adoquín con junta abierta y vegetada, hormigón poroso, etc.) sobre bases impermeables. Eje: paseo de Sant Joan.

- Los pavimentos de áridos que por su granulometría y compactación se asemejan a un pavimento impermeable, como los pavimentos de "sauló" habituales en casi todos los parques.

- Las zonas vegetadas con césped sobre un sustrato convencional de tierra vegetal con tendencia a compactarse por el uso y por tanto a no drenar.

- Zonas vegetadas no ubicadas estratégicamente en el recorrido del agua. Eje: entornos de la Superilla de San Antoni, etc...

## 2 Antecedentes

En los años 90 en Barcelona se extendió el uso de los pavimentos mixtos, adoquín con junta verde y sus variantes, con una función básicamente estética. Una de las obras más interesantes con este tipo de pavimentos fueron los aparcamientos en el frente marítimo del año 91.

En el 2001 el IMU redactó una propuesta para urbanización de la cobertura de la Ronda de Dalt en el tramo de la c/ Camelias en la que se planteaban los dos cordones de aparcamiento laterales con un pavimento similar al de los aparcamientos del frente marítimo, pero con la intención de que sirvieran para drenar la escorrentía de la calzada y de la acera. Esta opción quedó desestimada debido a los prejuicios que generó el mal funcionamiento de las obras precedentes respecto al mantenimiento y a la accesibilidad.

Alrededor del año 2003 aparecen las primeras obras en España que han servido de fuente de inspiración constructiva, entre las que se encuentran: el parque de Gómeznarro en Madrid, el aparcamiento experimental monitorizado realizado por GITECO en el parque de Las Llamas en Santander, así como los aparcamientos del Palacio de Deportes de la Guía en Gijón.

Lo que diferencia estas obras de las anteriores en Barcelona es su decidida apuesta por la implementación de SUDS. También ha sido pionera la normativa que aprobó el Ayuntamiento de Madrid en 2006 sobre la introducción de pavimentos permeables en todas las nuevas urbanizaciones.

Otros antecedentes más lejanos los encontramos en aquella publicación del libro escrito por el arquitecto César Cort en los años 30, Campos urbanizados y ciudades rurizadas, en el que da una explicación razonada de la conveniencia, tanto económica como medioambiental, de las redes separativas frente a las unitarias en todos los casos, y propone para las separativas que las aguas pluviales discurran hacia las zonas verdes más próximas para su limpieza e infiltración. Esta es una de las primeras descripciones de los "sistemas urbanos de drenaje sostenible".

En los últimos años se han ejecutado obras muy interesantes (modelos a imitar) entre las que quiero destacar los alrededores del estadio Wanda Metropolitano en Madrid, la c/ Torre Sant Vicent de Benicàssim con el proyecto CERSUDS y la reforma de la avenida de Gasteiz, entre otras.

## 3 Desarrollo

Desde el IMU hemos tenido claro el objetivo de los SUDS como sustituto del sistema unitario en la gestión de pluviales y ha sido una referencia troncal desde los primeros proyectos redactados en 2005 hasta ahora. Aunque este objetivo no se ha conseguido en todas las obras, estas han servido como experiencia que aporta conocimiento al resto de intervenciones y estudios. En ningún caso tratamos de reproducir las condiciones originales previas a la urbanización, sino que al margen del estado original, nuestro objetivo es configurar un paisaje urbano naturalizado no solo

en apariencia, sino sobre todo en su funcionamiento.

Construyendo los elementos necesarios que permiten digerir la escorrentía de una forma sostenible (sin coste energético adicional y con mantenimiento mínimo), contribuyendo a importar menos del exterior para aquellos usos en los que el agua potable no resulte imprescindible cerrando de esta forma el ciclo dentro de la propia urbe.

Tradicionalmente el drenaje de las aguas pluviales en las ciudades se hacía a través de tres formas básicas: el uso del espacio público como cauce abierto, los colectores creados para este fin (ingeniería romana) y el aljibe.

En las diversas obras hemos intentado seguir este esquema: escorrentía-filtro-conducto-aljibe y medio receptor. Hacen de filtro aquellos elementos que permiten limpiar el agua de los contaminantes como las zonas ajardinadas, cubiertas vegetadas, pavimentos permeables, areneros, etc., garantizando una calidad adecuada antes de que siga su curso.

La idea de aljibe se cristaliza de dos formas, una artificial que implica construcciones específicas para esta función y otra natural, que entiende el freático como el gran aljibe, con inmensas ventajas en su economía, puesto que ya estaba antes de que apareciera la ciudad, y basta con infiltrar-recargar-extraer cíclicamente de una forma equilibrada.

Ha costado años para que se entendiera que las zonas ajardinadas urbanas, al igual que las cubiertas vegetadas, tienen entre otras funciones, la de formar parte de la gestión del ciclo del agua, sirviendo de áreas inundables, sumideros, filtros, decantadores, etc.

Esta función adicional e importantísima fomenta que el verde deje de estar casi recluso en parques y plazas, y tienda a expandirse al resto del espacio urbano, especialmente a las calles. La dificultad



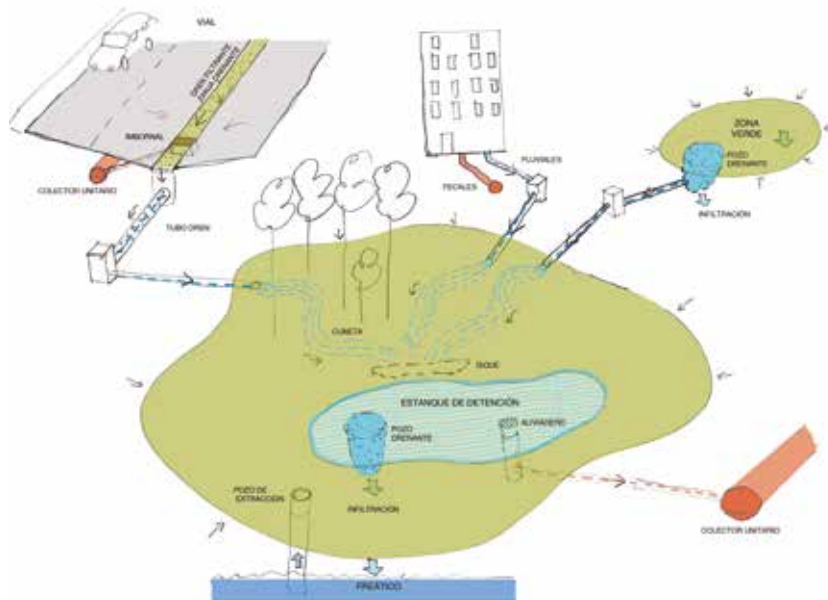
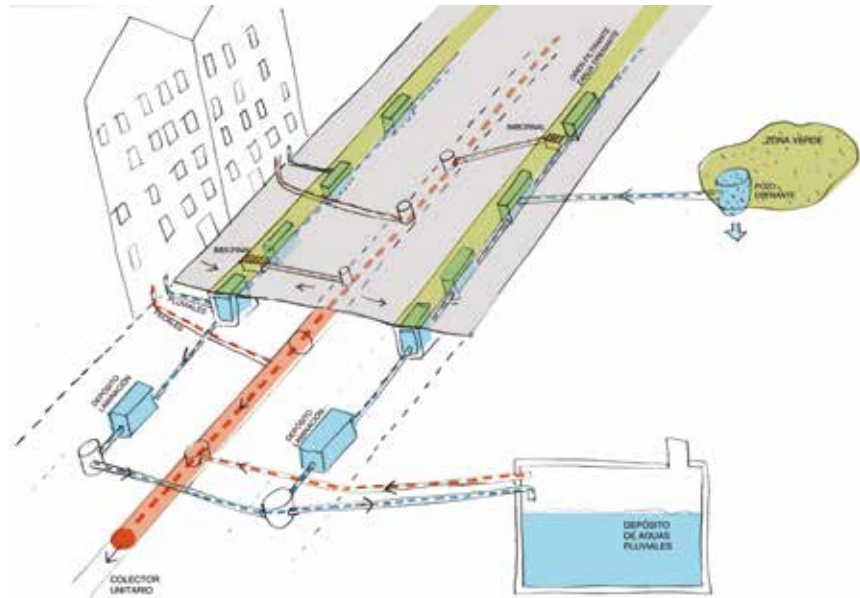
estriba en integrarlo en estos espacios de manera correcta.

El primer intento de llevar a cabo estas hipótesis se dio en dos proyectos simultáneos del 2005, Torre Baró (TB) y el parque de Joan Reventós (JR).

El esquema es similar en los dos: recoger la escorrentía de la calle y los edificios adyacentes a través de una lima-olla en la alineación del arbolado, siendo esta lima-olla un pavimento permeable sobre una zanja de gravas que dirige el agua hacia un aljibe. Lo he llamado intento puesto que la intención era que estas lima-ollas fueran vegetadas, pero no se consiguió, al poner de relieve el primer problema de tipo administrativo que afrontan los SUDS: el difuminar los límites que los diferentes departamentos de una administración municipal tienen en relación con sus ámbitos de actuación-mantenimiento claramente protocolizados.

No es nuevo ver en las ciudades partes lineales con arbolado; de hecho, es bastante común. Lo que sí era nuevo, al menos en Barcelona, es que ese elemento lineal ejerciera varias funciones tan diferentes a la vez, haciendo colisionar los protocolos de mantenimiento existentes al haber una interacción entre el verde, el gris (pavimentación) y el azul (agua). Este escollo impidió llevar a cabo esa primera intención y se optó por una solución en la que el número de agentes implicados se reducía a la banda gris con la construcción de un pavimento y sub-bases permeables.

Una diferencia importante entre estas dos obras está en cómo el entorno ha generado dos soluciones diferentes partiendo del mismo esquema de recogida de agua en superficie. En TB (figura 1), el sustrato geológico sobre el que se asienta el barrio es rocoso y prácticamente impermeable con lo que el agua, tanto de la calle como de los edificios, se dirige a pequeños depósitos distribuidos a lo largo de la zanja permeable y finalmente, a un aljibe (que aún no se ha llevado a cabo, dejando temporalmente el sistema con una función de laminación). En JR (figura 2), el agua filtrada en la calle es conducida a un parque próximo con un área que hace de estanque de retención y sumidero; las aguas de las cubiertas van a sí mismo dirigidas hacia el parque.



Hay que destacar que en la obra de TB se llevó a cabo una monitorización de la calidad del agua a través de todo el sistema con sus filtros de diferentes capas granulares y geosintéticos que hacen una función de biorretención que ayudan a la biodegradación de hidrocarburos y a la retención de otros contaminantes como metales pesados que proceden fundamentalmente de la calzada. Los resultados de la calidad del agua fueron óptimos (publicados dentro del proyecto CENIT Sostaqua).

Fig. 1\_ Esquema de drenaje en Torre Baró

Fig. 2\_ Esquema de drenaje en Joan Reventós



Fig. 3a\_ Can Cortada. Área inundable

Fig. 3b\_ Can Cortada, c/ Maternitat d'Elna. Área inundable

Si queremos construir un sistema autónomo y separado del sistema unitario en un clima con precipitaciones torrenciales (lluvia de diseño de periodo de retorno  $T = 10$  años, de 60 minutos de duración, intensidad pico de 212,45 mm/h y volumen de precipitación total de 59 mm), lo más eficaz es construcción de una superficie en la que aparezcan depresiones cuya utilidad es la de retener temporalmente la escorrentía antes de que los filtros puedan digerir el caudal y posteriormente, dirigirlo a los aljibes o donde se considere adecuado dependiendo de la situación.

Una de las pocas maneras de construir fácil y económicamente estas depresiones es a través de las zonas vegetadas que, al no ser transitadas, permiten cierta flexibilidad en su forma, posibilitando un volumen de inundabilidad temporal sin dañar el espacio público ni interferir en los usos de conexión urbanos, como en el caso de la urbanización del entorno de Can Cortada (figuras 3a y 3b).

Hay que tener en cuenta que estas áreas temporalmente inundables requieren en la mayoría de los casos, para compensar la intensidad de la lluvia y su captación total, de un volumen subsuperficial inundable que varía en función de la permeabilidad del terreno existente.

Tenemos pues dos volúmenes que han de estar conectados-separados a través de filtros con los que se encuentra el agua en su recorrido, siendo la eficacia de éstos crucial para que llegue a su destino limpia de contaminantes y en la cantidad que habíamos previsto. Para conseguir esta eficacia se han diseñado unos modelos desarrollados en las obras de Bon Pastor (BP), plaza de les Dones de Nou Barris (NB), plaza de Dolors Piera (DP) y Cristóbal de Moura (CM), entre otras. Esta última, actualmente en construcción, es en la que se resuelve este modelo de una manera más eficaz.

Tienen en común que los filtros están materializados en forma de sumatorio de obstáculos entre los que se encuentran areneros tradicionales registrables, con lo que se reduce al mínimo el mantenimiento (solo el habitual propio de la zona ajardinada, limpieza del pavimento, etc.) y se garantiza al máximo la captación de la escorrentía sin mermas en la eficiencia del sistema a lo largo plazo.

Las diferentes variaciones de esta solución están en función de la ubicación de la obra como, por ejemplo, en BP (figuras 4a y 4b) con una topografía plana, casi horizontal, y con un subsuelo muy permeable que han permitido reducir a la mínima expresión los elementos subterráneos. Sin embargo, y en el otro extremo, está la intervención en NB que, con una pendiente alrededor del 11 % y con un sustrato muy poco permeable, exige más volumen de almacenamiento para cumplir con los mismos parámetros de partida. (figuras 5a y 5b).

Fig. 4a\_ Esquema de drenaje en Bon Pastor

Fig. 4b\_ Bon Pastor, c/ Biosca. Área de biorretención

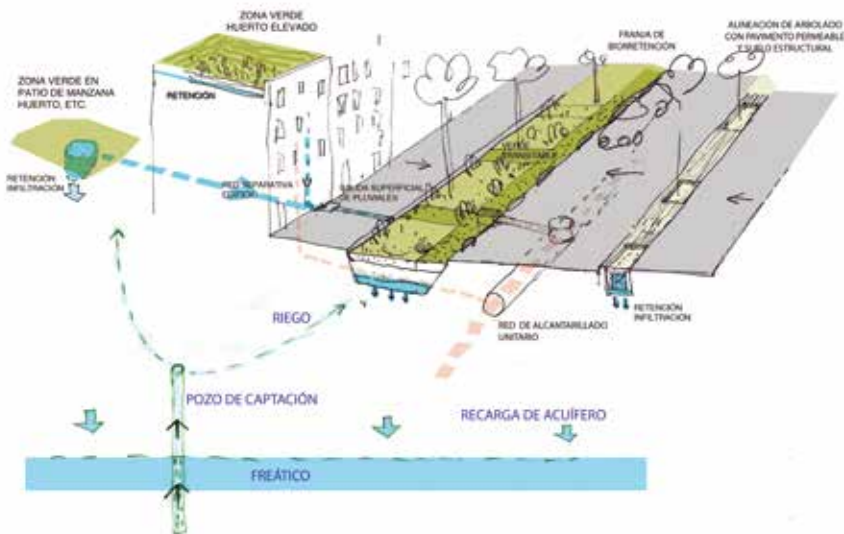


Fig. 5\_ Plaza de les Dones de Nou Barris, c/ Nou Barris. Área de biorretención

Las diferentes intervenciones desde el 2005 se han ido perfeccionando hasta llegar a la definición de modelos probados que sirven de base en la redacción de planes y estudios técnicos sobre los SUDS y que son replicables en el resto de la ciudad de Barcelona y extrapolables a otras ciudades (figuras 6a y 6b).

## 4 Conclusiones

No hay que olvidar que las ciudades están vivas y por tanto en construcción-rehabilitación permanente y no deberíamos perder oportunidades de mejorar medioambientalmente nuestro entorno urbano cada vez que intervenimos en él.

Se trata de transformar la ciudad en más habitable y resiliente a través de la inclusión de fórmulas o patrones como el incremento estratégico de zonas verdes con dispositivos de drenaje sostenible que puedan convertirse en estándares, permitiendo aumentar los recursos hídricos dentro de un ciclo cerrado y sostenible.

Se trata también de acercar la presencia de la naturaleza a la ciudadanía, mejorando la calidad de vida y creando entornos más saludables. 📍

### REFERENCIAS

- César Cort, "Campos urbanizados y ciudades rurizadas",
- Assis da Costa, F. "La ordenación de los flujos indeseables: Barcelona 1849-1917"
- Anna Llopart Mascaró , "Caracterización analítica de las aguas pluviales y gestión de las aguas de tormenta en los sistemas de saneamiento". Proyecto CENIT Sostaqua.
- Casabella, Nadia. 2015 UPCYCLE Barcelona: Cogenerative Design Strategies for a sustainable urban metabolism
- Soto-Fernández, R., Perales-Momparler, S., 2018, "El camino del agua en el paisaje urbano, barrio de Bon Pastor, Barcelona" 2018. Revista EcoHabitar nº 57
- Soto-Fernández, R. "Construcción-Rehabilitación de siete casas, 1997-2000", Vivienda y Sostenibilidad en España (Solanas, T., 2005)

Fig. 6a\_ Propuesta de rehabilitación urbana con franjas de biorretención vegetadas en una calle tipo

Fig. 6b\_ estado actual de calle tipo



# Actuaciones de mejora frente a la inundabilidad



LUCÍA  
**Belenguer**

Ingeniera de Caminos, Canales y Puertos.

Ingeniera de Caminos Municipal del Ayuntamiento de Bétera (Valencia)

en dos zonas urbanas mediante sistemas de drenaje sostenible

## RESUMEN

Las zonas residenciales que se construyeron durante los años 80 y 90 se diseñaron proyectando sistemas tradicionales de evacuación de aguas, con sistemas unitarios y sin dar la importancia oportuna a la gestión de las aguas de escorrentía urbana. Con el paso de los años se ha constatado que estos sistemas tradicionales, tal como se diseñaron y dado el régimen de lluvias de esta zona, no han dado la respuesta esperada, produciéndose diferentes episodios que han generado inundaciones en distintas zonas urbanas. Con la utilización de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible –SUDS– se ha pretendido mejorar la inundabilidad en varias zonas críticas de la urbanización Mas Camarena y Torre en Conill.

## PALABRAS CLAVE

Inundabilidad, zonas urbanas, SUDS

## ABSTRACT

*The residential areas built in the 80's and 90's were designed with traditional water drainage systems, with unit systems and without giving due importance to the management of urban surface water run-off. With the passing of the years it has been noted that these traditional systems, in view of the manner in which they were designed and the prevalent rainfall in this zone, have not provided the expected response and that there have since been episodes leading to flooding in different urban areas. Efforts have since been made to restrict flooding by the use of Sustainable Urban Drainage systems (SUDS) at various critical areas in the Mas Camarena & Torre en Conill residential development*

## KEYWORDS

*Flooding, urban areas, SUDS*



Planta Torre en Conill. Calle Cotoliu

# 1

## Introducción

En el municipio de Bétera, existen dos grandes urbanizaciones construidas durante las décadas de los 80 y 90, Mas Camarena y Torre en Conill, que produjeron un gran aumento de la población en un corto periodo de tiempo. Estos desarrollos urbanos crecieron con los criterios de diseño de evacuación de aguas residuales y pluviales de la época, en la que los sistemas de evacuación se trataban mediante sistemas tradicionales, con sistemas unitarios, y no se daba la importancia a las soluciones de tratamiento de las aguas pluviales, en especial en una zona como Valencia, con lluvias intensas en cortos periodos de tiempo.

Con los años se ha demostrado que el diseño para la evacuación de pluviales en estas zonas no fue el adecuado, repitiéndose varios episodios de inundaciones en distintos puntos de la zona.

Desde hace unos años, en las actuaciones llevadas a cabo desde el Ayuntamiento de Bétera, se han empezado a emplear Sistemas de Drenaje sostenible (SUDS), para intentar mejorar la inundabilidad en esas urbanizaciones, culminando en 2018 la ejecución de las dos obras que se describen en el presente artículo, siguiendo la filosofía recomendada en la mayoría de los países europeos, y en nuestro país en los últimos tiempos, donde ya en las últimas normativas, se incluyen apartados específicos relativos a este tema con objeto de intentar limitar la aportación de aguas de lluvia a los colectores.

## ACTUACIÓN Nº 1: TORRE EN CONILL

La Urbanización Torre en Conill se diseñó como una urbanización alrededor de un campo de golf privado, posteriormente a la ejecución del mismo. La trama de viales de la urbanización se compone de un vial principal en forma de anillo, del que parten numerosos fondos de saco, con pendiente hacia el propio fondo, y un algún otro tipo de vial, como la calle Cotoliu, que forma un semicírculo con entrada y salida al anillo principal, con un punto bajo en su zona central.

A lo largo de los años se han sufrido inundaciones en numerosas zonas de la urbanización; en diversas calles fondo de saco, en las que se cuenta con una zona verde al final de las mismas, se han realizado diversas actuaciones consistentes en rebajar las aceras del final del fondo de saco, de manera que la escorrentía superficial se va directamente a la zona verde, a zonas donde causa menos molestias para los vecinos, evitando así inundaciones en los sótanos próximos.

En el caso de la calle Cotoliu, el punto bajo donde se acumulaba el agua de escorrentía está situado en la zona central de la calle. Dicho punto está rodeado de viviendas y parcelas edificables, en las que no era posible desviar el agua de escorrentía superficial. Partiendo de este punto, se estudió la manera de intentar minimizar los aportes de agua de escorrentía antes de la llegada al punto bajo.

El aporte de agua de escorrentía llegaba al punto bajo por dos vías: a través del propio vial y a través de una zona verde que recoge las aguas de las calles de más arriba.

Para reducir el agua de aporte a través del vial, la solución que se adoptó consistió en utilizar las jardineras existentes en los laterales, para la formación de cunetas filtrantes. Una cuneta filtrante es una zanja de profundidad media en el suelo que se rellena de material drenante revestido en geotextil. Su función es captar el agua de escorrentía durante una avenida; se almacena en los espacios huecos del árido y se libera al suelo por infiltración, ayudando a preservar el equilibrio natural del agua en su entorno y recargando la capa freática.

Las dimensiones de las zanjas son de 1,5 m de ancho por 3 metros de profundidad, y se rellenaron con capas de bolo, seguidas de grava de 25 cm de espesor de distintas granulometrías, todas ellas envueltas en un geotextil, y una capa final de grava decorativa.

De esta forma, el aporte de agua al punto bajo se reduce, recogiendo en las cunetas a lo largo del vial.



Cunetas filtrantes en calle Cotolliu

Para reducir el aporte de escorrentía que llega a través de la zona verde, se emplearon diversos sistemas de drenaje sostenible en la misma zona: zanjas filtrantes, depósito de acumulación y un jardín de lluvia.

Se realizó un reperfilado en toda la zona verde dando la forma deseada para dirigir la escorrentía a las zonas que más interesara, de manera que el agua que desbordara de la zona verde hacia el vial fuera mínima. Para ello en ciertos puntos se realizaron zanjas drenantes, del mismo tipo que las realizadas en las jardineras del vial.

Se ejecutó un depósito de infiltración/laminación en la parte baja del jardín. Se trata de un depósito excavado en el terreno donde se colocaron estructuras modulares de plástico con un volumen neto de almacenamiento del 97 %, aprovechando para crear una estructura de infiltración al subsuelo, de almacenamiento o de retención para laminar la avenida.

Este sistema puede soportar cargas de tráfico hasta 12 toneladas, por lo que se pueden instalar en caminos y aparcamientos de coches y zonas recreativas o cualquier otro espacio al aire libre. En este caso se trata de una zona verde, peatonal, que en algún momento puntual podía soportar alguna carga de algún vehículo de mantenimiento.

Se utilizaron 539 bloques del tipo Ecobloc Light (de Graf), con unas dimensiones de 800x800x350, un peso de 11 kg y un volumen de 225 l, y sus ventajas principales son:

- Gran estabilidad estructural
- Certificado para una vida útil de 50 años.
- Facilidad de instalación (bloques sin montaje previo).

Con los 539 bloques se instaló un depósito de dimensiones 10,6x5,80x3,53 metros, dispuestos en 7 capas, sobre una base de grava y recubierta de gravas también para aprovechar al máximo la capacidad de recogida de agua, recubierto por un geotextil, que filtra el agua, mejorando su calidad. La capacidad del depósito es de 110 m<sup>3</sup>.

Se optó por colocar asimismo un módulo de arqueta de la misma marca comercial, para facilitar el mantenimiento y la limpieza del propio depósito. Dicho módulo queda totalmente integrado con el resto de piezas, con una colocación muy sencilla.

El proceso de montaje y recubrimiento se realizó en 2 días.

Al depósito llegan también las aguas que ese recogen de una reja transversal situada en el vial.

En otra zona se ejecutó un jardín de lluvia de unos 100 m<sup>2</sup>. Los jardines de lluvia son el tipo más sencillo de biorretención



Depósito de infiltración con bloques ecobloc light

y son depresiones con vegetación que aportan almacenamiento, infiltración y evapotranspiración. También eliminan los contaminantes al filtrar la escorrentía a través de las plantas adaptadas a las condiciones climáticas y de humedad del suelo del lugar.

## ACTUACIÓN Nº 2: MAS CAMARENA

La Urbanización Mas Camarena se construyó sobre los años 80 y en ella viven unas 4.000 personas. Se configura con un vial principal en forma de anillo, de la que parten viales que finalizan en fondo de saco. El anillo principal tiene un punto bajo al que le llegan las aguas de escorrentía de una gran parte de la urbanización.

Justo en esa zona donde se encuentra el punto bajo, se ubica el centro comercial de la zona, por lo que cuando hay lluvias de intensidad considerable, los problemas que se generan son importantes.

A lo largo de los últimos años se han realizado diversas actuaciones de mejora de los colectores existentes, tanto en tamaño como en mejorar las conexiones para lograr una evacuación más rápida de las aguas de tormenta, todo ello mediante sistemas tradicionales, pero que no han dado una solución al problema, sobretodo porque la red de saneamiento de Mas Camarena tiene su salida por el término municipal colindante, y es allí donde se encuentra el punto crítico que marca el límite de evacuación.

El presente proyecto surge con el objetivo de minimizar el volumen de agua que llega al punto más bajo de la Urbanización Mas Camarena que, tal como se ha mencionado anteriormente, se encuentra situado en la zona delantera del Centro Comercial. Laminando esas avenidas se pretende que los colectores unitarios existentes sean capaces de evacuar gran parte del agua que llega a la zona, minimizando las inundaciones que se producen periódicamente con lluvias tormentosas.

La solución ejecutada en la actuación ha consistido en la realización de una serie de elementos de drenaje sostenible que

laminan el agua de lluvia, actuando sobre la zona verde central. Para ello se realizó un reperfilado de la zona, para la formación de pendientes con una sección en V, en el vértice central se formó una zanja drenante que además de filtrar e infiltrar el agua al terreno, conduce la sobrante a unos depósitos de laminación/infiltración que acumularán el agua, infiltrando en el terreno y actuando de laminación para evitar el aporte puntual a los colectores generales en el momento de máxima lluvia. Se construyó también un pequeño jardín de lluvia.

Sobre la zanja drenante se ha ejecutado un pavimento de hormigón drenante, a modo de camino, que facilita la circulación de los peatones por la zona cuando llueve.

Las dimensiones de las zanjas drenantes son de 40 cm de ancho por 80 cm de profundidad, y se rellenaron con tres capas de grava de 25 cm de espesor de distintas granulometrías, todas ellas envueltas en un geotextil, y una capa en superficie de hormigón poroso.

Se han construido también dos depósitos de infiltración/laminación, en los dos puntos más bajos de la zona verde. El diseño de los mismos es similar al realizado en Torre en Conill. Las dimensiones de los mismos son:

- el depósito 1, con unas dimensiones de 138,81 m<sup>3</sup>, se utilizaron 594 bloques del tipo Ecobloc Light, de la casa Graf, con un módulo de arqueta para inspección y filtrado del agua,



Zanja drenante Mas Camarena



sobre una base de grava y recubierta de gravas también para aprovechar al máximo la capacidad de recogida de agua. Se construye además rodeado por un geotextil, que filtra el agua, mejorando su calidad.

- el depósito 2 es similar al 1, pero algo más pequeño, con una capacidad de 122,15 m<sup>3</sup>, con la utilización de 522 bloques.

El montaje y recubrimiento de los dos depósitos se realizó en 2 días en total y se emplearon 3 trabajadores.

Finalmente, en el punto más bajo de la zona verde, y para evitar la salida por escorrentía superficial de la zona sur se realizó un jardín de lluvia, de unos 100 m<sup>2</sup>.

En la entrada a la zona verde se ha instalado un cartel explicativo, con el fin de que los usuarios conozcan las obras realizadas, con explicaciones someras del funcionamiento de los sistemas de drenaje sostenible. 📍



Imagen de los bloques apilables paletizados. No requieren pre-ensamblado



Depósito en Mas Camarena: bloques de infiltración



Jardín de Lluvia



Panel explicativo de las obras de Mas Camarena

# Contaminación en las escorrentías pluviales

JOAQUÍN  
**Suárez**

VICENTE  
**Jiménez**

JOSÉ  
**Anta**

ALFREDO  
**Jácome**

JERÓNIMO  
**Puertas**

MONTSERRAT  
**Recarey**

ZURAB  
**Jikia**

IGOR  
**Fernández**

de autopistas y viales con alta intensidad de tráfico

## RESUMEN

Las aguas de escorrentía urbana pueden aportar, en cierto tipo de cuencas, cargas de contaminación significativas a las masas de agua. La escorrentía pluvial disuelve y arrastra los materiales que conforman las superficies urbanas (calles, tejados, etc.) o se encuentran depositados en ellas, y los transporta hacia las redes de saneamiento y drenaje, pudiendo llegar a los medios acuáticos. La problemática que se presenta se centra en el análisis de la contaminación aportada por las escorrentías de viales con una intensidad de tráfico significativa. Metales pesados e hidrocarburos están presentes de forma habitual y significativa en estos flujos de agua.

## PALABRAS CLAVE

Drenaje sostenible, escorrentías de viales y autopistas, concentración media de suceso, sustancias peligrosas

## ABSTRACT

*Urban surface water run-off may generate considerable pollution loads to watercourses in certain types of basins. Stormwater run-off dissolves and picks up materials forming urban surfaces (roads, roof tiles, etc.) or that are deposited on the same, and carries these to the drainage networks and potentially to water bodies. The problem presented in this article is focused on the analysis of the pollution caused by run-off from roads with high volumes of traffic. Considerable amounts of heavy metals and petroleum hydrocarbons are commonly found in these water flows.*

## KEYWORDS

*Sustainable drainage, road and motorway run-off, event mean concentration, hazardous substances*

# 1

## Introducción

A medida que aumentan las superficies impermeables fluye más agua por las áreas urbanas y se envía más rápidamente a las masas de agua receptoras. La mayor actividad que se desarrolla en estas superficies, o suelos urbanos (tejados, calles, vías, autopistas, áreas industriales, etc.), significa que también hay disponible más material contaminante. La concentración de actividades humanas genera deposición de polvo, suciedad, arenas, materia orgánica, nutrientes, metales pesados, tóxicos y contaminación bacteriológica sobre las superficies de las cuencas. La escorrentía, generada a partir de los sucesos de lluvia, disuelve y arrastra estos materiales vertiéndolos, en última instancia, en el medio receptor. Evidentemente, como consecuencia de las diferentes actividades y usos que se realizan en ellas, así como de las prácticas de limpieza e higiene urbana, una cuenca rural, una cuenca urbana o una cuenca industrial, tendrán aguas de escorrentía con muy diferentes tipos, concentraciones y cargas de contaminación. Minimizar la movilización de este material y su impacto es el objetivo de una buena gestión de la escorrentía pluvial (Puertas et al., 2008).

En la actualidad, según la Directiva Marco del Agua (Directiva 2000/60/CE, por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas) y la Instrucción de la Planificación Hidrológica (Orden ARM/2656/2008, por la que se aprueba la instrucción de planificación hidrológica, España), las aguas de escorrentía de calles, carreteras y autopistas deben ser consideradas como “presiones” a tener en cuenta y es precisa su caracterización con el fin de analizar si generan impactos significativos sobre las masas de agua. Además, las aguas de escorrentía urbana pueden ser consideradas aguas residuales de acuerdo con la Orden AAA/2056/2014, por la que se aprueban los modelos oficiales de solicitud de autorización y de declaración de vertido, y al ser vertidas a las masas de agua ponen en riesgo el alcanzar los objetivos fijados para su estado.

La contaminación asociada a las aguas de escorrentía se puede clasificar como contaminación difusa. Las fuentes difusas, o no localizables, son aquellas cuya contaminación se origina, y se encuentra dispersa, en zonas muy extensas y su control es muy difícil, ya sea en su origen o en su acceso a los sistemas acuáticos. Una de las características que dificulta el control y tratamiento de la contaminación asociada a las escorrentías urbanas es la discontinuidad de los flujos, asociados a los eventos de lluvia. Cada evento genera un hidrograma diferente que, a su vez, puede presentar una gran variación en las concentraciones y en las masas movilizadas de contaminantes. Para comprender mejor este tipo de problemática ambiental es necesario conocer las concentraciones instantáneas con respecto al tiempo (polutogramas, cuyos valores máximos estarán vinculados a episodios de contaminación aguda), así como el volumen de cada hidrograma y la masas movilizadas (ya sea en un evento, o a largo de un periodo extenso de tiempo como, por ejemplo un año), que estarán vinculadas a problemáticas ambientales de tipo crónico, como los procesos de bioacumulación de sustancias peligrosas en organismos, o los procesos de eutrofización de masas de agua). De esta manera, los polutogramas e hidrogramas constituyen las herramientas de análisis a ser utilizadas. La variabilidad y forma de los mismos es enorme; por este motivo, se suele trabajar con las concentraciones medias ponderadas con el caudal para obtener una Concentración Media de Suceso (CMS).

# 2

## Fuentes de contaminación de la escorrentía de autopistas y carreteras

La gran mayoría de las sustancias contaminantes que se van acumulando sobre la superficie de las vías de alta intensidad de tráfico son de origen antropogénico y pueden provenir de distintas fuentes. Las diferencias en los distintos tipos de vehículos, los combustibles empleados, y la tipología de los firmes y pavimentos, pueden determinar variaciones significativas en las sustancias contaminantes presentes. En este tipo de superficie se pueden identificar, a priori, las siguientes fuentes de contaminación: deposición atmosférica; contaminación a nivel de superficie

(tráfico rodado, erosión de los pavimentos, actividades de jardineira, uso de sal para el deshielo de la nieve, etc.). Las masas de contaminantes se distribuyen generalmente de forma continua y dispersa a lo largo del vial (contaminación difusa), si bien, y de manera ocasional, se producen focos de contaminación puntuales por derrames fortuitos de productos agrícolas, químicos, derivados del petróleo, etc., debido a accidentes de tráfico. En la tabla 1 se relacionan los distintos tipos de contaminantes con las diferentes partes de los vehículos, elementos de las carreteras, y con su explotación.

Estas fuentes de contaminación se cuantifican en la tabla 2, donde se muestran los rangos típicos de CMS de los principales contaminantes.

En la figura 1, obtenida a partir de los registros recogidos en Hvitved-Jacobsen et al. (2010), los cuales a su vez recopilan datos de la base de datos de Gran Bretaña y Europa (Mitchell et al., 2001) se puede apreciar que los parámetros básicos de las cuencas de Arteixo y Fene (cuencas piloto del GEAMA de la Universidade da Coruña) tienen concentraciones semejantes y que en el caso de los metales tienen algo más de variación.

# 3

## Factores que afectan a la contaminación de las escorrentías

Las investigaciones sobre la influencia del emplazamiento y de las características de los sucesos de lluvia en las concentraciones de los contaminantes en las aguas de escorrentía de las autopistas llevan a concluir que no hay relaciones sencillas y que las CMS de cada evento son el resultado de la IMD y de la compleja interacción de una serie de variables relacionadas con las precipitaciones y con las características propias de cada emplazamiento de autopista.

Los principales factores que afectan a la contaminación de las escorrentías pluviales en viales son los siguientes:

- Volumen de tráfico: al ser los vehículos una de las principales fuentes de la contaminación cabe esperar que el tráfico en un determinado tramo sea un parámetro importante. No obstante, las turbulencias causadas por la circulación de los vehí-

	Frenos	Ruedas	Carrocería	Carburantes y aceites	Pavimentos de hormigón	Pavimentos asfálticos	Sales deshielo	Basura
Cadmio								
Cromo								
Cobre								
Hierro								
Plomo								
Níquel								
Vanadio								
Zinc								
Cloruros								
Sólidos orgánicos								
Sólidos inorgánicos								
PAHs								
Fenoles								

Fuente principal       Fuente secundaria

Tabla 1\_ Fuentes antropogénicas de contaminantes en escorrentías de pavimentos urbanos (Sansalone et al. 1997)

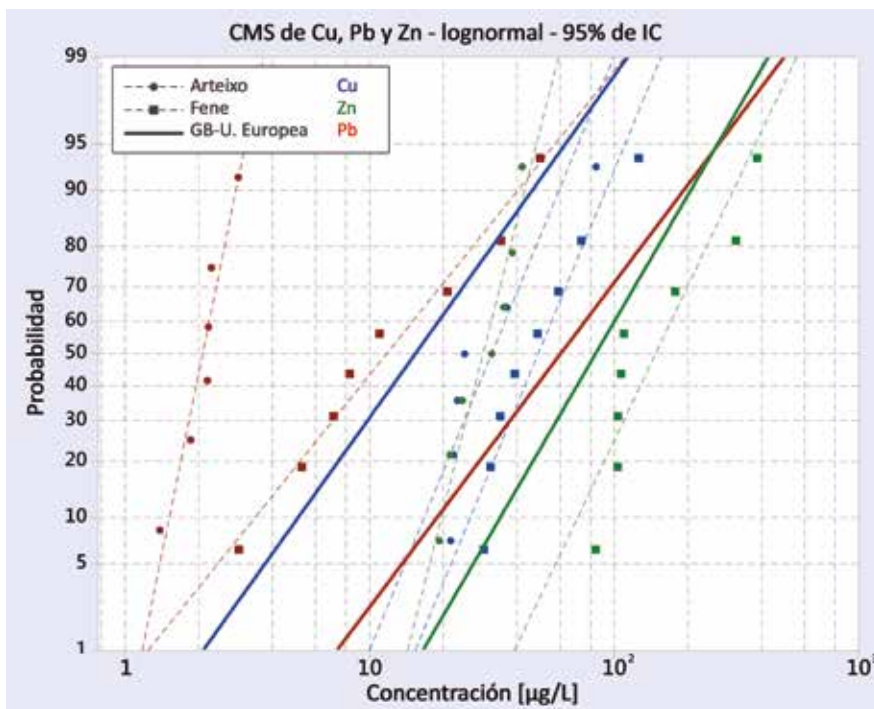


Fig. 1\_ Distribuciones de probabilidad acumulada para las CMS de Cu, Pb y Zn (Jiménez, 2013)

culos pueden alejar los sólidos y otros contaminantes de las superficies de rodadura, complicando la relación entre el volumen de tráfico, las cargas contaminantes y las concentraciones en las escorrentías. Además, hay dos medidas del volumen de tráfico que deberían tenerse en consideración: la intensidad media de tráfico diario (IMD) y el número de vehículos que circulan durante sucesos de lluvia (Kayhanian, 2003). La figura 2 muestra la relación entre la IMD y la concentración de varios metales pesados.

- Tiempo seco precedente (TSP): el tiempo seco precedente a un evento de lluvia es un periodo de acumulación de contaminantes, balance de la sedimentación y la eliminación. La acumulación neta no es lineal, sino que al inicio del periodo es mayor y más lenta al cabo de unos días, siguiendo una curva de saturación hasta llegar a un determinado TSP en que la carga deja de aumentar, manteniéndose, e incluso disminuyendo.

Parámetro	Ud	CALTRANS (2003)		Mitchell et al. (2001) Autopista / Carreteras alto tráfico (Urbanos general)			Jiménez (2013, 2014) Cuenca piloto FENE-GEAMA		
		RANGO	CMS	Media	1er Cuantil	3er Cuantil	Cmax	CMS	
<b>CONVENCIONALES</b>									
DQO	mg/L	10	390	117,9	- / 136,9	- / 89,1	- / 209,2	299	176,5
SST	mg/L	3	4.800	157,9	194,5 / 156,9	110,1 / 62,2	343,5 / 396,3	421	234,1
<b>METALES PESADOS (TOTALES)</b>									
Cd	µg/L	0,5	378	4,5	(2,2)	(1,3)	(3,7)	0,51	0,15
Cr	µg/L	1	100	10,9	(7,3)	(3,5)	(15)	15,43	9,16
Hg	µg/L	—	—	—	(0,27)	(0,1)	(0,74)	0,35	0,1
Cu	µg/L	1	800	48,5	- / 80,3	- / 43,2	- / 149,5	88,68	55,07
Fe	µg/L	4,1	24.000	4.284	(2.980)	(1.420)	(6.280)	10.320	5.651
Pb	µg/L	1	2.300	113,6	330,1 / 201,0	197,7 / 107,7	551,1 / 375,0	30,74	17,45
Ni	µg/L	0,91	317	12,6	(30,4)	(18,2)	(50,6)	15,05	7,43
Zn	µg/L	5	2.400	227,5	417,3 / 253,1	284,0 / 97,7	613,3 / 655,5	385,65	172,8
<b>NUTRIENTES</b>									
NTOTAL	mg/L	—	—	4,83	2,85 / 2,37	1,73 / 1,52	4,71 / 3,71	6,08	3,87
PTOTAL	mg/L	0,05	10	0,26	0,28 / 0,34	0,15 / 0,17	0,52 / 0,67	1,09	0,68
<b>HIDROCARBUROS</b>									
HAP	µg/L	—	—	—	—	—	—	7,23	2,42

Tabla 2\_ CMS, rangos de variación y Concentraciones máximas (Cmax) de contaminantes presentes en aguas de escorrentía de autopistas y viales

- Características de los sucesos de lluvia: variables tales como el volumen, duración de la lluvia e intensidad de lluvia pueden tener diversas consecuencias sobre la contaminación.

- Características de las lluvias precedentes: la naturaleza de las lluvias precedentes determina hasta qué punto se han lavado las sustancias previamente acumuladas en la superficie y cuál es el punto de partida para la recarga de contaminantes durante el tiempo seco precedente. Mediante la medición directa de la carga contaminante disponible en la superficie de la autopista se ha comprobado que las lluvias frecuentes tan sólo eliminan una pequeña proporción de la carga contaminante acumulada.

- Factores climáticos: hay influencias ambientales directas, tales como la temperatura y los patrones estacionales de precipitaciones, y otras indirectas como consecuencia de la actividad humana, ta-

les como esparcir sal en invierno para evitar la formación de placas de hielo, o fumigar herbicidas y pesticidas en primavera para controlar la vegetación en las márgenes de las autopistas. Las condiciones en la superficie de la carretera durante el período seco, temperatura, humedad o la exposición al aire y a la luz solar, pueden facilitar u obstaculizar los procesos como la volatilización y foto-oxidación.

- Usos del suelo: resulta difícil separar la influencia del tráfico de la de los usos del suelo del territorio por el discurre a autopista, las zonas en las que el tráfico es más ligero suelen ser más rurales que aquella en las que es más intenso.

- Tipo de firme y estado de la capa de rodadura: la influencia del material del pavimento de los viales, aglomerado asfáltico u hormigón, en la composición de las escorrentías parece ser escasa. La mayoría de los estudios encuentran esta diferencia poco relevante frente a

otros factores como los usos del suelo. En el caso de capas de rodadura con aglomerados asfálticos drenantes en Francia (Paggotto et al, 2000; Jiménez, 2013) se han encontrado notables mejoras en la calidad de las aguas de escorrentía de las autopistas.

- Limpieza del pavimento: en general, al margen de cuando se producen accidentes, el pavimento de las autopistas no suele limpiarse, salvo en el caso de que la capa de rodadura sea drenante, en cuyo caso es necesario realizar limpiezas periódicas para evitar su colmatación.

- Características de las secciones de la autopista: se ha encontrado que el tipo de sección transversal tiene cierta influencia sobre las cargas máximas de contaminantes, hasta un 15 % más en las zonas de terraplén que en las de desmonte. Esto refuerza la idea de que la influencia de las turbulencias provocadas por la circulación de los vehículos es mayor que la

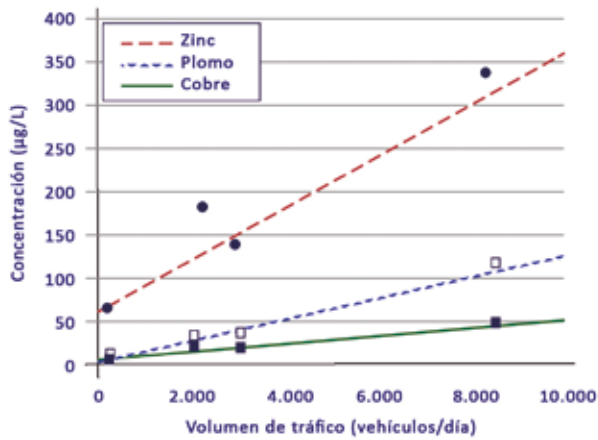


Fig. 2\_ Relación entre las concentraciones de metales y la IMD (adaptada de Bannerman, 1991)

de los vientos dominantes. La presencia y la ubicación de barreras (especialmente las de tipo New Jersey) y de vegetación profusa puede mantener atrapada dentro de la sección de firme partículas finas que otro modo se dispersarían por la acción del viento o de las turbulencias provocadas por la circulación.

- Tiempo transcurrido desde el inicio del evento hasta la toma de muestras: Las concentraciones más altas de contaminantes se observan, a menudo, al comienzo de las escorrentías de una tormenta, un fenómeno que se conoce como primer lavado (*“first flush”* en terminología anglosajona). Este fenómeno se observa principalmente en los componentes disueltos. El comportamiento de la fracción particulada está influenciado por la intensidad de las precipitaciones y no acusa de igual forma el *“first flush”* (ver figura 3). Además, en el caso de tráfico muy intenso, el continuo aporte de contaminantes puede atenuar este efecto.

- Tamaño de la cuenca: Cuando la cuenca que recoge las escorrentías de un tramo de autopista no tiene un cierto tamaño, los volúmenes que se movilizan en ella, durante los sucesos de lluvia, pueden ser lo suficientemente reducidos como para que pequeños vertidos o deposiciones infrecuentes puedan alterar significativamente las magnitudes de las concentraciones de los contaminantes presentes en las aguas. Por el contrario, al circular mayores volúmenes de escorrentías, a medida que aumenta el tamaño de la cuenca, las incidencias extraordinarias se atenúan.

## 4 Técnicas de drenaje sostenible de escorrentías pluviales de viales y autopistas

Las técnicas de drenaje sostenible deben ser incorporadas a la gestión de las escorrentías de viales y autopistas con el fin de reducir tanto los impactos hidromorfológico como los impactos por sustancias contaminantes sobre las masas de agua. Estas técnicas de drenaje sostenible deben actuar tanto en el control en origen de la contami-

nación (evitando o reduciendo la introducción de contaminantes a las aguas pluviales mediante la eliminación de los focos de contaminación o previniendo el contacto de los contaminantes con la lluvia y las escorrentías), como en el control de caudales (compensando y atenuando el aumento de las flujos causado por las superficies impermeables), y en el tratamiento de la escorrentía contaminada hasta niveles aceptables para su vertido a las masas de agua sin causar impactos. Las técnicas de drenaje sostenible que tratan las escorrentías utilizan diversos mecanismos, entre ellos la sedimentación, la filtración, fitoextracción (absorción en plantas), intercambio iónico, adsorción, precipitación y la descomposición bacteriana (Rodríguez, 2009). Además, las tecnologías empleadas se deben adaptar a las características de la contaminación presente en las aguas de escorrentía, como recoge por ejemplo la estrategia alemana (esquemática en la fig. 4).

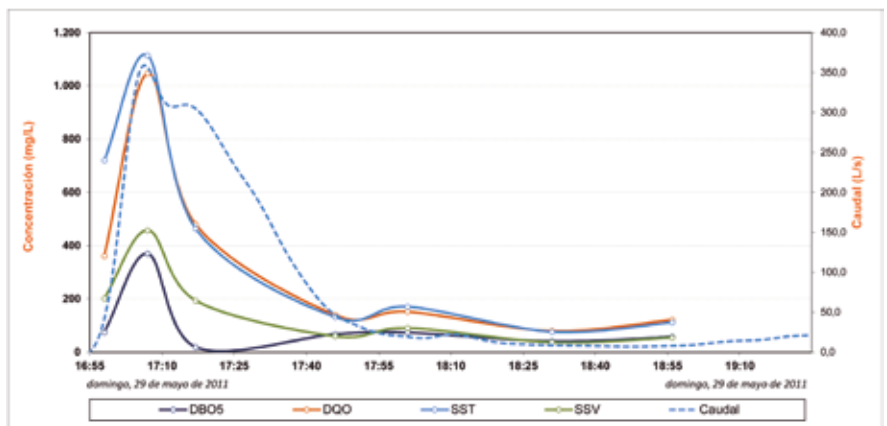


Fig. 3\_ Hidrograma y polutogramas medidos en un suceso de lluvia en la cuenca piloto de Fene (N-651; IMD=18.000) en un proyecto de investigación del GEAMA (Universidad de Coruña). Imagen que refleja el aspecto de las diferentes muestras caracterizadas en el mismo suceso (Jiménez 2013, 2014; Suárez, 2016)

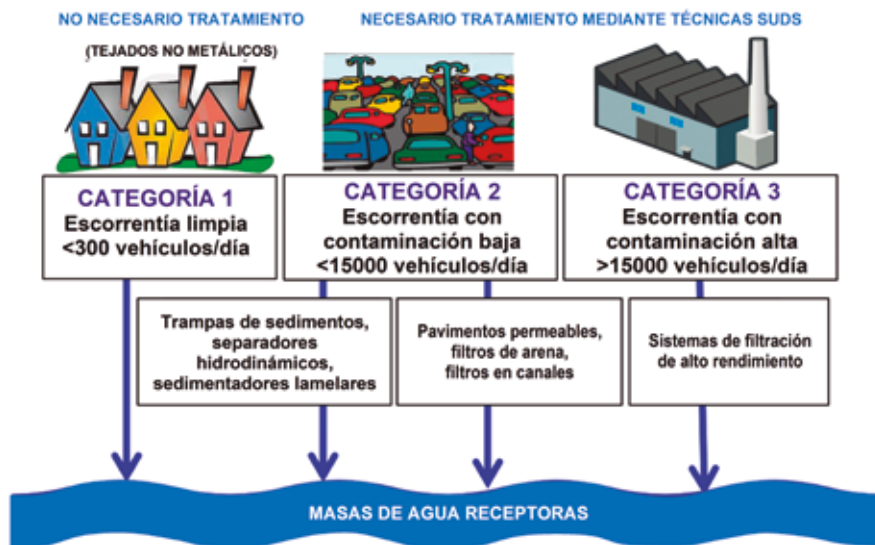


Fig. 4\_ Categorías de las aguas de escorrentía pluvial establecida en North Rhine Westphalia (NRW) y técnicas SUDS de tratamiento típicas (Dierkes, 2015)

## 5 Reflexiones finales

La movilización de contaminantes en las aguas de escorrentía pluvial debe ser analizada, y si causa impactos significativos sobre las masas de agua, deben desarrollarse estrategias de control y tratamiento de las mismas, bien mediante técnicas de drenaje sostenible, bien mediante técnicas más convencionales, con el fin de reducir o eliminar los impactos. Países como Francia, Alemania, Holanda o Gran Bretaña, ya han desarrollado normativas que obligan al tratamiento de las aguas de escorrentía de viales y autopistas en determinadas circunstancias. La Xunta de Galicia, a través de las Instrucciones Técnicas para Obras Hidráulicas en Galicia (ITOHG, 2009), ha realizado una primera aproximación al control de este tipo de escorrentías contaminadas. El Estado español debería incorporarse a esta estrategia de gestión avanzada de las aguas pluviales contaminadas de estas vías de alta intensidad de tráfico y desarrollar una normativa específica. ☎

## REFERENCIAS

- BANNERMAN, R T. (1991). "Pollutants in Wisconsin stormwater". Wisconsin Department of Natural Resources. Madison, WI.
- CALTRANS - State of California Department of Transportation; (2003); "Storm Water Quality Handbooks: Construction Site Best Management Practices (BMPs) Manual". Sacramento.
- DIERKES, C.; LUCKE, T.; HELMREICH, B.; (2015); "General Technical Approvals for Decentralised Sustainable Urban Drainage Systems (SUDS). The Current Situation in Germany"; Sustainability, 7, 3031-3051; doi:10.3390/su7033031
- CIRIA (1994); "Control of Pollution from Highway Drainage Discharges Report 142 (1997 ed.)". London: Construction Industry Research and Information Association (CIRIA).
- HVTVED-JACOBSEN, T.; VOLLERTSEN, J.; NIELSEN, A. (2010); "Urban and Highway Stormwater Pollution. Concepts and Engineering"; Boca Raton: CRC Press.
- JIMÉNEZ, V.; VEGA, F.; RÍO, H.; URES, P.; ANTA, J., JÁCOME, A.; SUÁREZ, J. (2013). "Mobilization of heavy metals in highway runoff with medium average daily traffic. Study of a pilot catchment in Galicia (Spain)"; "The 16th International Conference on Diffuse Pollution and Eutrophication, IWA; Beijing, China.

- JIMÉNEZ, V.; RÍO, H.; URES, P.; VIEITO, S.; PAYO, P.; TEMPRANO, C.; SUÁREZ, J. (2014). "Análisis de la movilización de metales pesados en fase disuelta y particulada en escorrentía de autopistas"; XXXIV Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Aspirando a un medio ambiente sostenible; Monterrey, México.

- KAYHANIAN, M.; SINGH, A.; SUVERKROPP, C.; BORROUM, S. (2003); "Impact of Annual Average Daily Traffic on Highway Runoff Pollutant Concentrations"; Journal of Environmental Engineering, 129(11), 975. doi: 10.1061/(ASCE)0733-9372(2003)129:11(975).

- MITCHELL, G., MCDONALD, A., & LOCKYE, J. (2001). "The Quality of Urban Stormwater in Britain and Europe: Database and Recommended Values For Strategic Planning Models"; University of Leeds".

- PAGOTTO, C., LEGRET, M., & LE CLOIREC, P. (2000). "Comparison of the hydraulic behaviour and the quality of highway runoff water according to the type of pavement. Water Research, 34(18), 4446-4454. doi: http://dx.doi.org/10.1016/S0043-1354(00)00221-9.

- PUERTAS J., SUÁREZ J., ANTA J. (eds.). (2008) Gestión de las aguas pluviales. Implicaciones en el diseño de los sistemas de saneamiento y drenaje urbano (In Spanish). CEDEX, Madrid. 600 pgs.

- RODRÍGUEZ, J. J.; DÍAZ MARTÍNEZ, A. (2009); "Guía técnica de diseño y gestión de balsas y otros dispositivos de retención de contaminantes en carreteras. s.l.: CEDEX, 2009.

- SANSALONE, J.; BUCHBERGER, S.; (1997); "Partitioning and first flush of metals in urban roadway storm water"; Journal of Environmental Engineering, 123(2), 10.

- SUÁREZ, J., JIMÉNEZ, V., RÍO, H.; ANTA, J.; JÁCOME, A.; TORRES, D.; VIEITO, S. (2013); "Design of a sand filter for highway runoff in the north of Spain". Proceedings of the ICE - Municipal Engineer, 166, 121-129. http://www.icevirtuallibrary.com/content/article/10.1680/muen.12.00028

- XUNTA DE GALICIA (2009); "Instrucciones Técnicas de Obras Hidráulicas de Galicia". Santiago de Compostela ([http://augasdegalicia.xunta.gal/docs/7/7?content=/Portal-Web/Contidos\\_Augas\\_Galicia/Seccions/itohg/seccion.html&std=itohg.html](http://augasdegalicia.xunta.gal/docs/7/7?content=/Portal-Web/Contidos_Augas_Galicia/Seccions/itohg/seccion.html&std=itohg.html))



NIALL  
**Tynan**

BSC Aquatic Ecotechnology  
Engineering.  
Gerente Drenatura

# Sistemas soterrados patentados

para la gestión sostenible  
de las aguas de escorrentía  
en el supermercado LIDL de Galdakao

## RESUMEN

En el año 2015 se ejecutó un supermercado LIDL en el término municipal de Galdakao en Bizkaia, con el requerimiento de la Agencia Vasca del Agua de implementar sistemas urbanos de drenaje sostenible en la parcela. La condición hidrológica preexistente fue establecida mediante el análisis de hidrogramas de distintas duraciones y periodos de retorno en 11 l/s. Se diseñaron e instalaron dos sistemas de drenaje sostenible para tratar, laminar y regular las aguas de escorrentía que vierten hacia el río Ibaizabal mediante sistemas patentados soterrados diseñados para replicar la cantidad y calidad del agua de la parcela preurbana.

## PALABRAS CLAVE

Condición hidrológica preexistente, tratamiento escorrentías, separador hidrodinámico, caudal calidad aguas

## ABSTRACT

*The LIDL supermarket was built in the municipality of Galdakao in Bizkaia in 2015, with the requirement of the Basque Water Agency to implement sustainable urban drainage systems within the plot. The prevailing hydrologic conditions were established by the analysis of hydrographs of different durations and return periods at 11 l/s/ Two sustainable drainage systems were designed and installed to treat, laminate and regulate the run-off waters that flowed towards the river Ibaizabal by means of patented buried systems designed to replicate the quantity and quality of the water of the preurban plot.*

## KEYWORDS

*Prevailing hydrologic condition, surface water run-off treatment, hydrodynamic separator, water quality flow*





Fig. 1\_ Parcela del LIDL en el término municipal de Galdakao, Bizkaia



Fig. 2\_ Sección del SUDS implementado bajo la superficie de la zona de aparcamientos del supermercado.

# 1

## Introducción

En 2015 LIDL Supermercados, S.A.U., ejecutó la construcción de un supermercado en el término municipal de Galdakao, Bizkaia (fig. 1). La zona se localiza al SE dentro del área industrial de la localidad y sobre la vega del río Ibaizabal. El supermercado se encuentra delimitado por el trazado de la carretera N634 y por el cauce del río Ibaizabal.

Al ubicarse dentro del Dominio Público Hidráulico el Proyecto de Ejecución y su licencia ambiental, requerían informe favorable por parte de la Agencia Vasca del Agua. Esta administración informo exigiendo el cumplimiento del artículo 56 del RD400/2013, y obligaba a implementar en el desarrollo técnicas de drenaje sostenible.

El criterio normativo no definía que nivel de protección debían proporcionar los SUDS y solo mencionaba que se debía respetar la condición hidrológica preexistente. El objetivo de la actuación se centró en diseñar un sistema de drenaje que reprodujera en la mayor medida de lo posible el comportamiento hidrológico de la cuenca preurbana. A continuación, se explica cómo se logró este objetivo.

# 2

## Descripción de la actuación

El SUDS implementado está formado por sistemas patentados soterrados que permiten tratar, laminar, infiltrar y regular los flujos de escorrentía (fig. 2). Las escorrentías pluviales entran al sistema mediante sumideros e imbornales convencionales y se canalizan hacia el sistema. El separador hidrodinámico retiene la mayor parte de la carga contaminante arrastrada por estas aguas minimizando la entrada de sedimentos a los túneles de infiltración.

El sistema de infiltración-laminación compuesto por bóvedas, retiene el hidrograma de diseño, reduciendo la generación de escorrentía y ayudando a reproducir el ciclo natural del agua en

el entorno urbanizado. La estructura de salida está integrada por un regulador de caudal que limita el caudal de evacuación a un valor correspondiente a la condición hidrológica preexistente.

### *Volumen de escorrentía*

El área de ocupación proyectada para el supermercado entre la edificación, aparcamientos y sus accesos era de 5.488 m<sup>2</sup>. Previo al desarrollo la parcela estaba conformada por un solar vegetado de topografía relativamente uniforme y plana asociada a la vega y llanura de inundación del río. Para replicar la detracción inicial de la cuenca tras la urbanización, se destinó un volumen total de 54 m<sup>3</sup> en la base del sistema de infiltración, formado por una explanada de grava angular 20-50 mm que además actuaba como cimentación del sistema de laminación-infiltración implementado y mejoraba la capacidad portante del suelo

Para determinar los caudales y los volúmenes de laminación se empleó el modelo SWMM, un modelo para el análisis hidrológico e hidráulico de redes de drenaje esencialmente urbanas. Mediante el modelo se simuló la respuesta de la cuenca y los SUDS a partir de datos de precipitación y parámetros físicos y numéricos (pendiente, número de curva SCS-CN, detracción, etc.). La respuesta de la cuenca ante un determinado evento de precipitación se transformó en un hidrograma de entrada a cada uno de los depósitos de infiltración-laminación planteados. La tabla 1 recoge los resultados extraídos del modelo SWMM.

En el proceso se analizaron 12 años de precipitaciones diezmintales para determinar los volúmenes generados de escorrentía en cada suceso, en una condición preurbana y posturbana de la parcela. Estos sucesos se ordenaron de menor a mayor altura de precipitación y se determinó su probabilidad de ocurrencia.

Para la base del cálculo de los depósitos de laminación se emplearon las recomendaciones del CIRIA (2007) referentes a la duración de los hidrogramas estableciéndose una duración de 180 minutos. La condición hidrológica preexistente se estableció en 11 l/s, definida como el caudal medio de evacuación del hidrograma preurbano asociado al periodo de retorno de 2 años. El criterio adoptado permite controlar un amplio rango de sucesos asociados a una menor probabilidad de ocurrencia y cuya duración crítica es diferente a los 180 minutos. Esta condición debía respetarse para la avenida de 10 años una vez de-

Periodo de retorno	Caudal medio evacuación (l/s) *		Caudal punta posturbano (l/s)	Volumen laminación (m³)
	PR	Posturbano		
2 años	11	22	205	122
5 años	19	27	246	151
10 años	32	31	283	207
25 años	43	38	341	275

\* Promedio de caudal para toda la duración del hidrograma, 180 minutos

Tabla 1\_ Parámetros usados en SWMM para el estudio hidrológico de la cuenca antes y después del desarrollo



Fig. 3\_ Instalación de bóvedas Stormtech para la infiltración-laminación de las aguas de escorrentía

sarrollado el ámbito y por tanto se debía dotar al sistema de un volumen de 207 m³.

Se construyeron dos depósitos de laminación-infiltración soterrados en la parte baja de la red de drenaje y previos a la acometida municipal. El depósito 1 tenía un volumen de laminación de 110 m³ y recibe las aguas de 2.914 m² de viales y aparcamientos, mientras que el depósito 2 solo recibe las aguas de 2.574 m² de cubiertas y está provisto de 74 m³ (fig. 3). Ambos depósitos se construyeron bajo las zonas de aparcamiento con túneles de drenaje siguiendo las normas y estándares ASTM F 2787 y AASHTO LRFD referentes al diseño estructural de cámaras corrugadas para la gestión de las escorrentías.

El sistema de bóvedas se instaló embebido en un paquete de material granular 20-50 mm angular bajo zonas de tráfico rodado por donde transcurren vehículos pesados. La normativa AASHTO define las capas granulares como un componente clave imprescindible para la interacción entre el suelo y la estructura plástica de drenaje.

#### Control de la escorrentía

Para limitar el caudal pasante en ambos depósitos de infiltración, se ejecutó una obra de salida usando reguladores de caudal por

válvulas vortex Hydro Brake® en cámara húmeda. En salida del depósito 1 se instaló una válvula para un caudal de diseño de 6,5 l/s y en el depósito 2 para 5 l/s. De esta forma se conseguía el doble objetivo de limitar el caudal de salida hacia el sistema de drenaje del municipio a valores similares a la condición hidrológica preexistente, y optimizar el volumen de depósito requerido mediante una válvula con una buena curva de desagüe.

#### Calidad de escorrentía

Para fijar los objetivos de tratamiento de la escorrentía se realizó una estimación de la carga contaminante que se movilizaría en tiempo de lluvia desde las cuencas hacia los cuerpos receptores usando el método simple (SCHUELER, 1987). Según este método la estimación de carga contaminante en las aguas de escorrentía para el ámbito presentará mayoritariamente sólidos suspendidos totales, por tanto, el objetivo de tratamiento para estas aguas fue la eliminación de sólidos con un tamaño de partícula objetivo de 20 micras al caudal de calidad de aguas la cuenca (tabla 2).

Cuenca	SST (kg)	Zn (kg)	Pb (kg)	NT (g)	PT (g)
LIDL Galdakao	349,62	0,83	0,33	12,92	1,68

Tabla 2. Estimaciones de cargas contaminantes anuales aportadas por la escorrentía superficial hacia medio receptor en la zona de estudio mediante el Método Simple

Para el diseño de los elementos de tratamiento se trabajó con el percentil 90 de precipitación acumulada. Este percentil 90 de precipitación se calcula ordenado toda la serie de datos de precipitación diezminutal registrados de menor a mayor y calculando el porcentaje que representa cada intervalo con respecto al total de precipitación caído en la serie. El P90 representa en este caso la intensidad asociada al 90% de la precipitación acumulada para la serie de estudio. En el caso de Bilbao la intensidad de 12 mm/h genera el 90% de toda la precipitación anual registrada en la estación de Derio de Euskalmet y por tanto el caudal estimado con esta intensidad de diseño permitirá tratar la mayor parte del volumen anual de vertido.

Aplicando la intensidad de 2 mm/h, al cálculo de caudales se obtuvo un caudal de calidad de aguas de 69 l/s para todo el ám-

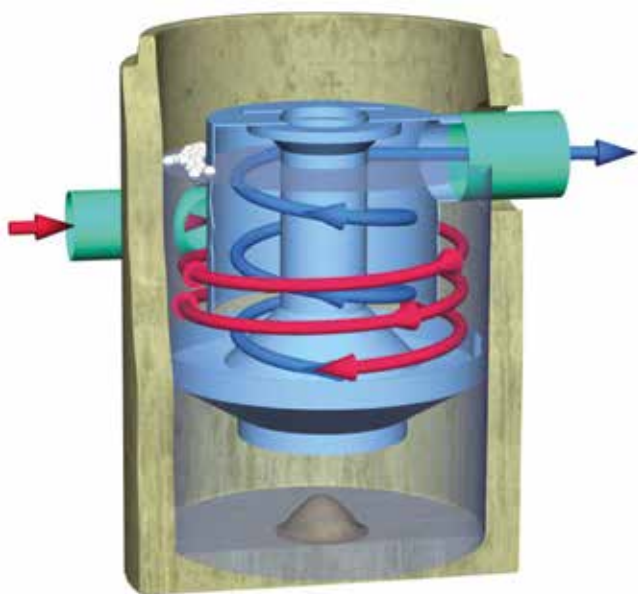


Fig. 4\_ Downstream Defender para el tratamiento de las aguas de escorrentía. La unidad establece un vortex de baja energía para la eliminación de flotantes, sedimentos e hidrocarburos de los flujos de entrada al SUDS

bitio. Para el tratamiento de las aguas procedentes de las zonas de aparcamiento y viales se instaló un separador hidrodinámico Downstream Defender® 1200 proyectado para eliminar un tamaño de partícula de hasta 100 micras del agua de escorrentía antes de su entrada al depósito 1 (fig. 4). La efectividad de esta unidad para tratar escorrentías contaminadas ya ha sido estudiada en estudios en ámbitos industriales y autopistas (Suárez et al., 2015; TYNAN et al., 2016 Y 2017 )

Para garantizar la calidad del agua de escorrentía procedente de aparcamientos, y debido a la presencia de un nivel freático a 1,5 metros de la base del sistema de infiltración-laminación, se estableció un segundo nivel de tratamiento. El sistema proyectado permite usar determinadas partes del mismo como zona de tratamiento-aislamiento. Las aguas entran siempre primero a la zona de tratamiento donde deben atravesar geotextiles, que retienen y filtran flotantes y sedimentos de las aguas, antes de continuar al resto del sistema para ser infiltradas o evacuadas (fig. 5). En el depósito 1 que recibe las aguas de los viales se proyectaron dos filas de aislamiento para tratar 37 l/s. En el depósito 2, que recibe las aguas procedentes de cubierta, las aguas solo son tratadas por la fila de aislamiento. Los procesos de tratamiento implementados en su conjunto proporcionan rendimientos de eliminación de sedimentos mayores al 90%.

Todas las filas de aislamiento se conectaron a un pozo desde el cual se pudiese proceder a la inspección y vaciado del sistema cuando se requiera. Toda el área interior del túnel y su base están completamente abiertos y no presentan ninguna obstrucción que pueda impedir su total limpieza con agua a presión.

El SUDS en su conjunto no posee ninguna parte móvil y es completamente accesible y registrable para su mantenimiento.

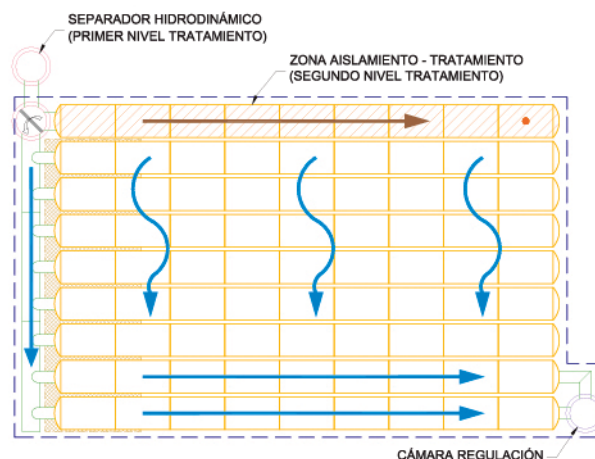


Fig. 5\_ Flujos de agua en el SUDS, la zona de aislamiento-tratamiento permite filtrar las aguas antes de que avancen hacia el sistema de infiltración-laminación

Desde su entrada en operación en abril del 2015 el sistema se inspecciona visualmente cada 6 meses y anualmente se procede a la limpieza del separador hidrodinámico y de las filas de aislamiento de ambos depósitos. 📧

## REFERENCIAS

- AASHTO LRFD Bridge Design Specification – Cálculo de cargas conforme a la sección 3 y diseño estructural de estructuras termoplásticas soterradas conforme a sección 12.12.
- ASTM F 2787 - Standard Practice for Structural Design of Thermoplastic Corrugated Wall Stormwater Collection Chambers.
- ASTM F 2418 - Standard Specification for Polypropylene (PP) Corrugated Wall Stormwater Collection Chambers.
- Real Decreto 400/2013, de 7 de junio, por el que se aprueba el Plan Hidrológico de la parte española de la Demarcación Hidrográfica del Cantábrico Oriental.
- Suárez et al. (2015) *Highway runoff treatment evaluation using continuous turbidity measurements*. 17th IWA International Conference on Diffuse Pollution and Eutrophication, 13-18 September, 2015. Berlin. Germany.
- The SuDS manual (C697), 2007, CIRIA.
- Tynan et al. (2017). Caracterización de las escorrentías pluviales del puerto de Pasaia y estudio de su tratamiento. XIV Jornadas españolas de Ingeniería de Costas y Puertos. Alicante, 24 y 25 de Mayo de 2017.
- Tynan et al. (2016). Programa de evaluación y monitoreo de las escorrentías pluviales contaminadas de un tramo del segundo cinturón de Donostia-San Sebastián. Conama 2016.

# Gestión de aguas pluviales con SUDS en plataformas logísticas

Caso de la plataforma logística en parcela M-1 del Parque Logístico Valencia, Ribarroja del Turia (Valencia)

**RAFAEL**  
**Ibáñez**

Arquitecto.  
Planifica Ingenieros y Arquitectos, Coop. V.



**PEDRO**  
**Millán**

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.  
Planifica Ingenieros y Arquitectos, Coop. V.



**GONZALO**  
**Valls**

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.  
Planifica Ingenieros y Arquitectos, Coop. V.



**GERARDO**  
**Urios**

Doctor en Biología.  
Landstudios Consulting S.L.



## RESUMEN

En 2017, Planifica recibe el encargo por parte de Promociones Nederval, S.A. de concebir, diseñar y calcular el sistema de drenaje de aguas pluviales, con el empleo de Sistemas de Drenaje Sostenible (SUDS), de la urbanización de la plataforma logística en parcela M-1 del Parque Logístico Valencia en Ribarroja del Turia (Valencia).

## PALABRAS CLAVE

SUDS, plataforma logística, gestión pluviales, suelo industrial

## ABSTRACT

*In 2017, the engineers and architects cooperative PLANIFICA received an assignment from Promociones Nederval, S.A. to conceive, design and calculate the stormwater drainage system, with the use of Sustainable Drainage Systems (SUDS), in the development of the logistics platform at plot M-1 of the Valencia Logistic Park in Ribarroja del Turia (Valencia).*

## KEYWORDS

*SUDS, logistic platform, stormwater management, industrial land*

# 1

## Problemática

Debido a la propia naturaleza de la actividad que se desarrollará en la parcela –actividad logística– se espera una alta concentración de hidrocarburos policíclicos (PAH), metales pesados (plomo, zinc, cobre, níquel, etc.), nutrientes (especialmente nitrógeno en múltiples formas) y sólidos en suspensión en las escorrentías superficiales que se generen sobre los patios de maniobra y zonas de aparcamiento de la parcela. Por tanto, es prioritario evitar, en la medida de lo posible, la entrada de agua de lluvia sin tratar proveniente de la parcela a la red de aguas pluviales del polígono industrial y, al mismo tiempo, laminar en lo posible el caudal de entrada al mismo. Con ello, se persigue reducir la presión que se ejerce sobre el medio receptor, no solo en cuanto a la calidad, sino también en relación a los caudales pico vertidos.

Asimismo, la propia naturaleza de la actividad logística requiere grandes patios de maniobra y estacionamiento de vehículos pesados, lo que obliga a optimizar la solución SUDS para ocupar la menor superficie de suelo posible.

# 2

## Criterios de diseño

El planteamiento respecto a la gestión de la cantidad de agua (volumen) es el siguiente:

- Diseñar el sistema de drenaje para que sea capaz de gestionar en su totalidad un alto porcentaje (90 %) de los eventos de precipitación anuales.
- Diseñar los elementos de captación de escorrentía y rebose hacia la red de colectores para que el conjunto sea capaz de gestionar las lluvias de diseño de periodo de retorno 15 años (T15).



Balsa de biorretención IV3

- Analizar el comportamiento del conjunto empleando la modelización en continuo con un año representativo de la serie histórica.

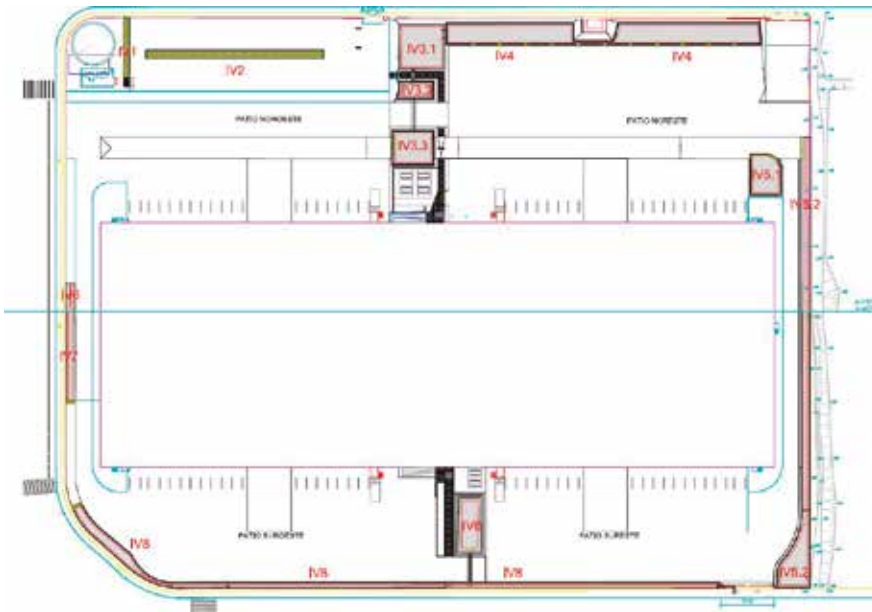
Y el planteamiento respecto a la gestión de la calidad del agua es el siguiente:

- Diseñar el sistema de drenaje mediante SUDS para que éste sea capaz de gestionar el volumen de lluvia asociado al percentil 90 (V90), siguiendo las recomendaciones internacionales. Así, este volumen de agua será retenido por el sistema diseñado y obligado a filtrarse a través de las diferentes capas de material que conforman los SUDS, permitiendo finalmente su infiltración al terreno subyacente con un nivel de calidad del agua aceptable.

# 3

## Sistema de drenaje

El sistema de drenaje presentado incorpora el empleo de elementos de



Distribución en planta de los SUDS

### Tipología de SUDS

<b>Patio noroeste</b>	
Infraestructura Verde 1 (IV1)	<b>Zona PCI</b>
<b>Patio noroeste</b>	
Infraestructura Verde 2 (IV2)	<b>Aparcamiento ligeros</b>
<b>Patio noroeste</b>	
Infraestructura Verde 4 (IV4)	<b>Patio pesados</b>
<b>Patio noreste</b>	
Infraestructura Verde 3 (IV3)	<b>Zona norte-calle</b>
<b>Patio noreste</b>	
Infraestructura Verde 5 (IV5)	<b>Zona noreste-nave</b>
<b>Lateral este</b>	
Infraestructura Verde 5 (IV5)	<b>Zona este</b>
<b>Lateral oeste</b>	
Infraestructura Verde 6 (IV6)	<b>Zona oeste</b>
Infraestructura Verde 7 (IV7)	<b>Zona oeste</b>
<b>Patio sur</b>	
Infraestructura Verde 8 (IV8)	<b>Patio pesados</b>

drenaje sostenible (SUDS) con el objetivo de fomentar la retención en origen de las escorrentías, de modo que solo ante eventos de lluvia de magnitud significativa se produzca un rebose laminado hacia la red de colectores de pluviales. El agua retenida en los SUDS propuestos es tratada in situ (por procesos de biodegradación, filtración, absorción, etc.), y se evacuará por procesos de evaporación, evapotranspiración, infiltración al terreno subyacente y, en última instancia, alivio al colector.

Por un lado, la escorrentía superficial generada sobre el patio de maniobras noroeste es dirigida hasta una cuneta central gracias a las pendientes del propio patio, que funciona como una solera a dos aguas. La cuneta, a su vez, cuenta con una pendiente longitudinal que permite dirigir el agua hacia el este. Así, el agua es conducida hasta una balsa de infiltración (IV3) en la zona central del patio; entre los patios noroeste y noreste.

El agua generada sobre la superficie de la esquina noroeste de la parcela llega a una zanja de infiltración con gravas (IV1), la cual separa este espacio del aparcamiento para vehículos ligeros. Esta zanja dispone de un rebosadero conectado por superficie con otra zanja de gravas (IV2) dispuesta entre las dos bandas de aparcamiento en batería del aparcamiento para vehículos ligeros. Esta zanja de gravas está conectada hidráulicamente con la balsa de biorretención (IV3) la conexión se realiza por superficie mediante una rigola. A esta balsa de biorretención también llegan las aguas gestionadas por una franja de biorretención (IV4) proyectada paralela al vial norte, entre la balsa de biorretención y la esquina noreste. Esta franja de biorretención recibe y gestiona el agua generada sobre la banda de aparcamiento en batería de vehículos pesados.

La balsa de biorretención (IV3) está compartimentada en tres módulos

de diferentes áreas, al aire libre y comunicados hidráulicamente mediante tubos. Esta balsa cuenta con un rebosadero que permite el alivio de excedentes al siguiente elemento del sistema de drenaje; otra franja de biorretención (IV5) en la esquina noreste de la nave. La continuidad de caudales entre ambos elementos se materializa con una cuneta idéntica a la descrita anteriormente. El patio noreste es drenado hacia esta cuneta (limahoya).

Cuando la capacidad de almacenamiento temporal del área de biorretención (IV5) se ve superada, el agua accede al siguiente dispositivo SUDS: la franja de biorretención del lateral este de la parcela. Todos estos SUDS procuran un tratamiento de las escorrentías, al obligar al agua a filtrarse por las capas granulares y de tierra vegetal proyectadas y, finalmente, a infiltrarse al subsuelo.

Al final de esta línea de tratamiento se dispone del correspondiente aliviadero de seguridad, el cual conecta con uno de los pozos de registro de la conducción de pluviales que discurre bajo el vial del lado sur de la parcela. De este modo, se permite la derivación de caudales a la red de pluviales existente en caso de evento extremo.

Por otro lado, la escorrentía del patio oeste se gestiona mediante dos franjas de biorretención perimetrales (IV6 e IV7) con aliviaderos de seguridad a dos pozos de registro de la red de pluviales.

Por último, la escorrentía de los patios suroeste y sureste se gestiona con dos tramos de franja de biorretención interconectados, y conectados a su vez a otra área de biorretención (IV8) (junto a oficinas) mediante dos tubos, lo que permite aumentar la capacidad de gestión del agua de lluvia del sistema de drenaje sostenible. También se cuenta aquí con un aliviadero conectado a un pozo de registro existente para cuando se supere la capacidad de almacenamiento del conjunto.



Balsa de biorretención IV3

Debido a las limitaciones de espacio disponible y a la escasa diferencia de cota entre algunos puntos, se desestimó la gestión de las aguas pluviales de la cubierta de la nave. De todos modos, cabe señalar que los problemas de calidad del agua que presentará la escorrentía de los patios –sobre los que transitarán y estacionarán vehículos pesados–, no son ni mucho menos los que se presenten sobre la cubierta.

## 4 Especies vegetales

Si bien los estudios de biorretención, cada vez más completos y exhaustivos, han mostrado una alta eficiencia en la eliminación de sedimentos, tan solo recientemente se ha acreditado que además los hidrocarburos policíclicos (PAH) son retenidos de forma consistente con lo esperado teóricamente en la materia orgánica que dichos sustratos contienen si se les dota de la adecuada mezcla de suelo



Balsa de biorretención IV5.2

vegetal, arena y materia orgánica junto con la apropiada vegetación en las plantaciones.

Las especies botánicas utilizadas fueron seleccionadas, con el asesoramiento del biólogo especialista Gerardo Urios Pardo, partiendo de taxones que han acreditado dicha capacidad en la bibliografía, pero además potenciando especies pertenecientes a la flora autóctona y que, además, cumplan criterios estéticos. La lista de especies se basó, además, en dos criterios fundamentales para que la planta sea un fitoextractor. El primero es su biomasa y el segundo la eficiencia de concentración. Por tanto, se buscaron taxones que tengan acreditado poder de bioacumulación y asimismo dispongan de suficiente biomasa, además de su disponibilidad en viveros especializados. Entre las especies utilizadas destacan especies arbóreas del género *Salix sp.* y variedad de gramineas como *Brachypodium retusum*, *Festuca glauca*, *Hyparrhenia hirta*, *Panicum virgatum*, *Stippa tenacissima*. Además se utilizaron otras especies

subarborescentes (caméfitos) pertenecientes a varias familias de la flora autóctona con taxones equivalentes a las especies que, en otros contextos geográficos, han mostrado capacidad de fitorremediación, es decir: son capaces de absorber, acumular, metabolizar, volatilizar o estabilizar contaminantes presentes en el suelo, aire, agua o sedimentos. Algunos de estos géneros de la flora autóctona utilizados en esta experiencia pionera han sido: *Anthyllis sp.*, *Myrtus sp.*, *Iberus sp.*, *Medicago sp.*

## 5 Resultados

Los SUDS proyectados son capaces de gestionar el volumen de diseño de 28 mm sin que se produzca rebosa a la red municipal, contando además con un almacenamiento extra en todos los casos. En total, el volumen de agua asociado con la tormenta de 28 mm –y que las estructuras de drenaje sostenible propuestas son capaces de retener en su totalidad– es de 505 m<sup>3</sup>. Esta cantidad es inferior a la capacidad de almacenamiento de agua disponible en estos SUDS, que asciende a 536 m<sup>3</sup>.

Tanto para la concepción del sistema como para los cálculos detallados se contó con la colaboración de la empresa Green Blue Management, quién modelizó el comportamiento hidrológico-hidráulico de los SUDS con el *software* especializado Micro Drainage (de Innovyze). Los resultados de la modelización indican que ante la batería de lluvias de diseño de periodo de retorno T=15 años, el comportamiento de los SUDS permite unas reducciones de caudal pico en cada uno de los puntos de conexión con la red municipal de entre el 63 % y el 78 %.



# 6

## Conclusiones

Esta alternativa de gestión del agua de lluvia –innovadora en España, pero ampliamente conocida e implantada en otros países anglosajones–, cumple con las recientes exigencias normativas que la administración ha comenzado a impulsar.

Esta solución, además de reproducir el ciclo hidrológico original, consigue la depuración de las aguas pluviales antes de su infiltración en el terreno. La escorrentía de este tipo de instalación tiene una elevada carga contaminante que tiene que ser tratada antes de su infiltración. Esta depuración se consigue mediante el uso de especies vegetales fitorremediadoras y la filtración de las aguas mediante el filtro de arena y tierra vegetal. Mediante este proceso se evita la instalación de separadores de hidrocarburos.

A pesar de las dificultades de espacio disponible y escasa diferencia de cotas, se ha conseguido una solución SUDS que resuelve con éxito el problema planteado. Actualmente, se está abordando el proyecto del sistema de drenaje de pluviales con SUDS en otra plataforma logística del mismo polígono industrial. Se pretende aprovechar la nueva actuación para monitorizar el sistema y desarrollar, junto a la Universitat Politècnica de València, un proyecto de I+D+i sobre las especies vegetales y los distintos tipos de suelo que mejor funcionan en estos casos. @



Cuenca IV3.2 con lluvia y 24 horas después

### NOTAS

(1) El sistema de recogida y evacuación de aguas de la cubierta de la nave logística constituye una actuación independiente.

# Percepción social de los SUDS

Lecciones aprendidas y recomendaciones para involucrar a todos los actores implicados

ELENA  
**Calcerrada**

Máster Ingeniera de Caminos.  
Green Blue Management,  
Valencia



PABLO  
**Valls**

Doctor Ingeniero de Montes.  
Planifica Urbanismo y Gestión,  
S.L.U., Valencia



JESSICA  
**Castillo-  
Rodríguez**

Doctora Ingeniera de Caminos.  
Instituto Universitario de  
Investigación de Ingeniería del  
Agua y Medio Ambiente (IIAMA),  
Universitat Politècnica de  
València



IGNACIO  
**Andrés-  
Doménech**

Doctor Ingeniero de Caminos.  
Instituto Universitario de  
Investigación de Ingeniería del  
Agua y Medio Ambiente (IIAMA),  
Universitat Politècnica de  
València



# 1

## Introducción

Tradicionalmente, el diseño y gestión de infraestructuras ha sido competencia de las administraciones públicas y de los técnicos, públicos o privados, con formación en la materia. Sin embargo, existe la necesidad de considerar a todos los actores que intervienen durante su ciclo de vida para que el resultado permita afrontar los retos actuales y futuros en dicha gestión (Observatori del Paisatge, 2010). La gestión de las aguas pluviales no es una excepción y su nuevo enfoque, que incluye Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS), posibilita incluir una visión holística desde su etapa de planificación.

Existen múltiples actores asociados a la gestión de escorrentías urbanas, que pueden clasificarse según diferentes factores (origen, profesión, interés, etc.). Concretamente, destaca la categorización conocida como cuádruple hélice, pues se emplea ya desde hace algunos años como fórmula para la innovación en la gestión territorial (Guillén, 2018). Según esta clasificación, se distinguen cuatro grupos: administración, centros de conocimiento, empresas y sociedad civil (CoSuDS Project, 2016).

Para que la gestión sostenible del agua de lluvia se convierta en una realidad es necesaria la implicación de todos los actores, para captar sus percepciones y lograr soluciones conjuntas y consensuadas. Este cambio de paradigma afecta a todos los niveles, si bien el procedimiento que posibilita su integración puede variar según la escala.

En el presente artículo se resumen experiencias recientes que incluyen las diferentes escalas a considerar en la incorporación de los diferentes actores hacia una gestión sostenible, colaborativa y resiliente del agua de lluvia en entornos urbanos. Por último, se incluyen una serie de conclusiones y reco-

### RESUMEN

En los últimos años se ha puesto de manifiesto la necesidad de promover una gestión sostenible y eficiente del agua de lluvia en las ciudades, con el objetivo de mejorar la gestión de las escorrentías, así como potenciar la implementación de soluciones que sirvan de soporte a la adaptación y mitigación frente al cambio climático. Los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) han demostrado ser soluciones innovadoras y eficaces para alcanzar dicho objetivo. Sin embargo, su adecuado diseño, construcción y mantenimiento requiere de la participación de todos los agentes implicados en la gestión del ciclo urbano del agua.

El presente artículo pone de manifiesto dicha necesidad y plantea recomendaciones al respecto a partir de las lecciones aprendidas de cuatro casos de estudio llevados a cabo a escalas nacional, regional, municipal y distrito.

### PALABRAS CLAVE

Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS), ciclo urbano del agua, cambio climático, percepción social

### ABSTRACT

*In recent years, the need to promote sustainable and efficient stormwater management in cities has arisen with the aim of improving runoff management, as well as boosting the implementation of solutions to support climate change adaptation and mitigation. Sustainable Urban Drainage Systems (SUDS) have proven to be innovative and effective solutions to achieve this goal. However, its proper design, construction and maintenance require the participation of all actors involved in the urban water cycle management.*

*This article highlights this need and provides recommendations based on lessons learned from four case studies carried out at national, regional, municipal and district levels.*

### KEYWORDS

*Sustainable Drainage Systems (SUDS), Urban water cycle, Climate change, Social perception*

mentaciones derivadas de las lecciones aprendidas en cada experiencia.

## 2 Casos de estudio

A continuación, se describen cuatro casos de estudio de incorporación de diferentes actores en el diseño y concepción de los SUDS llevados a cabo a diferentes escalas. Los cuatro casos analizados incluyen:

- Escala nacional: pulsar la posición de los técnicos.
- Escala regional: promover la replicabilidad de los SUDS (Proyecto LIFE CER-SUDS, Benicàssim, Castellón)
- Escala local: involucrar a la ciudadanía (Proyecto ViaSuDS, La Pobla de Farnals, Valencia).
- Escala distrito: codiseñar soluciones a escala barrio (Proyecto CoSuDS, Castellón).

### 2.1. Escala nacional: pulsar la posición de los técnicos

#### 2.1.1. Motivación

En 2017, el grupo GITECO de la Universidad de Cantabria, el Instituto de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente (IIAMA) de la Universitat Politècnica de València y Green Blue Management (GBM) activaron la red de colaboración RedSuDS, con el propósito de promover en España la integración de SUDS como una alternativa más al drenaje urbano. Su primera actividad fue organizar la Jornada RedSuDS 2017 en Madrid (fig. 1), a la que asistieron más de 200 profesionales procedentes de los cuatro grupos de actores citados anteriormente (administración, centros de conocimiento, empresas y sociedad civil). En ella se reflexionó sobre la panorámica de los SUDS y las prioridades fundamentales a corto y medio plazo para cumplir con la legislación vigente, destacando el reciente RD 638/2016 (Perales y Carballo, 2017).

Con el fin de recabar las opiniones de los asistentes a la Jornada RedSuDS 2017, así como de otros actores implicados con la ciudad y la gestión del agua, se decidió elaborar una encuesta *online*



Fig. 1\_ Jornada RedSuDS 2017 celebrada en Madrid

(Calcerrada et al., 2018). La metodología seguida y los resultados obtenidos se describen en el siguiente apartado.

#### 2.1.2. Metodología

La encuesta se estructuró en cuatro partes, de acuerdo a las siguientes cuestiones:

1. Cuestiones ligadas a la gobernanza: destinadas a determinar las instituciones que debieran encargarse de la regulación de los SUDS; señalar las futuras acciones y su orden de prioridad; identificar y diferenciar el contenido de una normativa/reglamento, un manual técnico y una guía de buenas prácticas; y recopilar las herramientas informáticas disponibles en el mercado.

2. Cuestiones ligadas a las experiencias y a los proyectos: dirigidas a detectar el canal más apropiado para difundir los proyectos que cuentan con SUDS; identificar los motivos que impiden la implementación de estas técnicas; y sondear la opinión respecto a la monitorización.

3. Cuestiones ligadas a la formación y la información: encaminadas a señalar las futuras líneas de investigación en el ciclo de vida de los SUDS; y la pertinencia de instalar paneles divulgativos en las obras.

4. Sobre usted: cuestiones dirigidas a elaborar el perfil del encuestado con fines estadísticos, su grado de relación con los SUDS y su disposición a participar en futuras jornadas.

2.1.3. Resumen de resultados obtenidos  
La encuesta se lanzó en mayo de 2017 y se recibieron 44 respuestas, lo que supone un nivel de confianza entre el 75 % y el 80 % para poder extrapolar sus resultados al resto de España. Se distribuyeron principalmente por la geografía española, siendo las provincias con más participantes: Madrid (25 %), Valencia (15,91 %) y Ciudad Real (13,64 %).

Las principales conclusiones derivadas del análisis de la encuesta son las siguientes:

- Los encuestados plantearon un reparto homogéneo de la responsabilidad de regular los SUDS entre las diferentes escalas de gobierno.
- El principal aspecto destacado que precisa ser investigado es, según los encuestados, el análisis multicriterio a lo largo del ciclo de vida de los SUDS (coste construcción/mantenimiento, beneficios ambientales y sociales, etc.), con un apoyo del 54,8 %.
- El 81 % de los encuestados cree necesario monitorizar la cantidad y calidad del agua gestionada, señalando en un 45,2 % al Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente (actualmente, Ministerio para la Transición Ecológica) como ente encargado de su financiación.
- Los dos canales de difusión destacados para dar a conocer los proyectos que incluyan los SUDS fueron las jorna-

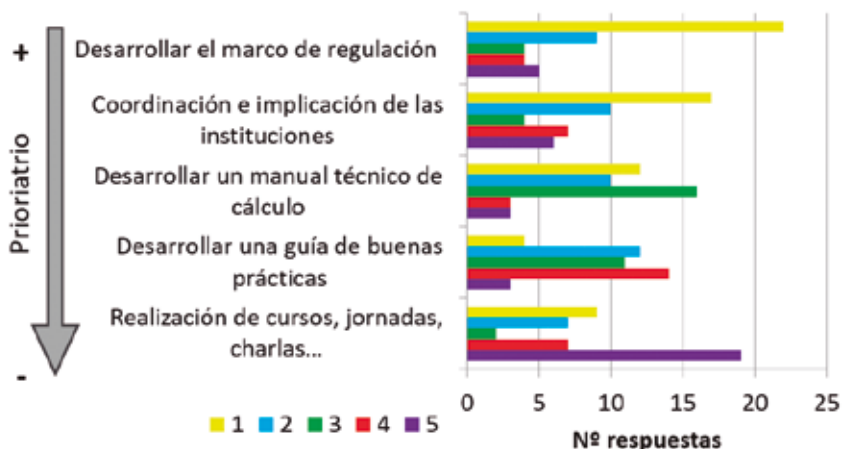


Fig. 2\_ Respuestas a "1.2. Ordene las siguientes acciones según su importancia (donde 1 es lo más prioritario, 5 lo que menos) para que la implantación de los SUDS sea una realidad"



Fig. 3\_ Vista del demostrador ejecutado en el municipio de Benicàssim en el marco del proyecto LIFE CERSUDS

das de intercambio de experiencias entre municipios (54,8 %) y la publicación de una base de datos web actualizable (40,5 %).

- El 59,5 % de los encuestados coincidió en la conveniencia de instalar paneles divulgativos en las obras, con el objetivo de que los ciudadanos conozcan y comprendan la gestión de aguas pluviales que se realiza en su ciudad.

En noviembre de 2017, los resultados de esta encuesta fueron expuestos en la batería de reuniones enmarcadas en el Eje 2 del Pacto Nacional por el Agua, liderado por la Dirección General del

Agua, en las cuales se pulsó a los diferentes actores para analizar cómo implementar los SUDS en el drenaje urbano.

#### 2.1.4. Lecciones aprendidas

Como resultado de la encuesta, las lecciones aprendidas más relevantes para que el cambio de paradigma en materia de drenaje urbano integre la perspectiva de los técnicos son las siguientes:

- Contar con una red colaborativa activa, flexible y formada.
- Reflexionar sobre el marco legislativo y acordar fórmulas que promuevan la inclusión de los SUDS.

- Dedicar recursos para suplir el desconocimiento técnico y social de los SUDS.
- Monitorizar a largo plazo los SUDS con el objetivo de mejorar su rendimiento a lo largo de su ciclo de vida.
- Conectar de forma bidireccional a los técnicos y a los ciudadanos, por ejemplo, instalando paneles divulgativos en las obras.

## 2.2. Escala regional: promover la replicabilidad de los SUDS (Proyecto LIFE CERSUDS, Benicàssim, Castellón)

### 2.2.1. Motivación

El proyecto LIFE CERSUDS, actualmente en desarrollo (2016-2019), está financiado por el Programa LIFE 2014-2020 de Medio Ambiente y Acción por el Clima de la Unión Europea con referencia LIFE15 CCA/ES/000091. El proyecto incluye la ejecución de un demostrador en el municipio de Benicàssim (Castellón), en la calle Torre Sant Vicent, empleando una innovadora solución de pavimentación cerámica permeable, a partir de baldosas cerámicas de bajo valor comercial que se encuentran en stock y que han sido transformadas en adoquines permeables. La figura 3 muestra una imagen de la calle finalizada, donde el adoquín se dispone en aceras, zonas peatonales y carril bici.

El proyecto LIFE CERSUDS ha incluido entre sus actividades la creación de un Grupo de Trabajo Regional (GTR) integrado por más de una veintena de agentes implicados en la gestión del ciclo del agua de diferentes municipios de la Comunitat Valenciana.

El proyecto ha tenido como puntos de partida las experiencias generadas en proyectos anteriores como son E<sup>2</sup>STORMED y AQUAVAL. Además, da continuidad al GTR creado en el proyecto E<sup>2</sup>STORMED en el que estuvieron involucradas administraciones local, regional y estatal, empresas y usuarios.

El objetivo principal del GTR es potenciar la transición hacia una gestión sostenible del agua de lluvia en el municipio de Benicàssim y en su entorno socioeconómico, para impulsar el cambio de paradigma en dicho municipio, así como a escala regional en la Comunitat Valenciana.



Fig. 4\_ Reunión del Grupo de Trabajo Regional (GTR) LIFE CERSUDS celebrada en mayo de 2017



Fig. 5\_ Rueda de transición del proyecto E<sup>2</sup>STORMED (adaptada del proyecto SWITCH)

### 2.2.2. Metodología

Las reuniones del GTR tienen el objetivo de materializar las distintas etapas de la rueda de transición planteada en el marco del proyecto E<sup>2</sup>STORMED (Programa Interreg-MED), “*Improvement of energy efficiency in the water cycle by the use of innovate storm water management in smart Mediterranean cities*”, desarrollado en el periodo 2013-2015, cuyo objetivo era el desarrollo de herramientas de

apoyo para introducir en la toma de decisiones el ahorro energético en el ciclo urbano del agua, con el uso de sistemas no tradicionales de gestión del agua de lluvia tales como los SUDS.

La figura 5 muestra el esquema propuesto, en el que se distinguen diez etapas. El objetivo de las reuniones del GTR es materializar las distintas etapas de esta rueda de transición. Este esque-

ma se desarrolla en detalle en Perales-Momparler et al. (2015).

### 2.2.3. Resumen de resultados obtenidos

Las reuniones del GTR (seis en total en el periodo de octubre de 2016 a diciembre de 2018) han permitido:

- Recabar opiniones concretas a cuestiones relativas a las fases de ejecución del demostrador en Benicàssim, monitorización y replicabilidad del mismo, con especial atención a aspectos de viabilidad técnica y económica de la solución; así como, puesta en valor de los beneficios de la misma en materia de sostenibilidad y gestión del agua de lluvia.
- Identificar factores de origen interno y externo que favorecen o limitan la implantación y uso de SUDS a escala regional.
- Identificar necesidades de mejora en el conocimiento de los SUDS y de disponer de herramientas que favorezcan su incorporación en proyectos de diseño.
- Reconocer la necesidad de plantear acciones de comunicación y difusión de resultados cuya audiencia objetivo incluya a técnicos y actores de otros municipios.

### 2.2.4. Lecciones aprendidas

La experiencia previa del GTR del proyecto E<sup>2</sup>STORMED demostró que dicho grupo es una herramienta muy eficaz para catalizar el proceso de transición a nivel municipal entre la óptica convencional del drenaje urbano y el enfoque integrado y descentralizado basado en SUDS.

El trabajo desarrollado por el GTR en el municipio de Benicàssim ha supuesto avances muy significativos en el cambio de paradigma: la localidad cuenta con una infraestructura SUDS piloto que emplea un pavimento permeable cerámico innovador, que servirá de ejemplo para otros municipios.

Además, cabe destacar el beneficio que el GTR aporta en el avance en innovación e investigación a escala regional, integrando tanto a administraciones como centros de conocimiento (universidades). La sinergia entre ámbito académico, empresarial y gubernamental favorece el avance tecnológico de los

SUDS, su difusión en los municipios y su replicabilidad.

### **2.3. Escala municipal: involucrar a la ciudadanía (Proyecto ViaSuDS, La Poba de Farnals, Valencia)**

#### *2.3.1. Motivación*

Este caso se desarrolló en el marco de una investigación para analizar la viabilidad social y económica de los SUDS en la Comunitat Valenciana. Entre otras tareas, para el estudio se seleccionaron un conjunto de municipios donde se llevaron a cabo procesos participativos con los ciudadanos.

Habitualmente, los SUDS se ubican en espacios públicos de zonas urbanas, de gestión municipal. Esto implica la existencia de una población que ve cambiado su entorno cotidiano, lo cual puede suscitar diferentes reacciones: cuestionamiento del nuevo escenario, percepción de distintos tipos de riesgos (caída, insalubridad) o vandalismo.

Se considera que los problemas mencionados se pueden reducir informando adecuadamente a la ciudadanía y planteando actuaciones teniendo en cuenta su opinión. En este caso de estudio se buscaba determinar el grado de conocimiento y aceptación de los SUDS en el municipio valenciano de La Poba de Farnals, seleccionado por poder presentar problemas para la gestión de escorrentías urbanas de origen pluvial como inundaciones localizadas.

#### *2.3.2. Metodología*

En noviembre de 2017, se llevó a cabo un taller participativo para cuya convocatoria se contactó con diferentes asociaciones vecinales. La sesión se estructuró en cuatro partes: (i) cuestionario individual inicial para identificar conocimientos previos; (ii) presentación informativa sobre SUDS: problemática de la gestión convencional del agua de lluvia, concepto de drenaje sostenible, tipologías y contexto mundial y nacional; (iii) coloquio para resolver dudas e inquietudes y determinar percepciones a nivel grupal;

y (iv) cuestionario final para establecer actitudes a título individual.

#### *2.3.3. Resumen de resultados obtenidos*

En el taller participaron 7 vecinos. Las intervenciones en la fase de grupo giraron entorno a los siguientes temas:

- Una preocupación general en lo referente a la influencia del nivel freático en el correcto funcionamiento de los SUDS, pues en el último año el municipio ha sufrido inundaciones de sótanos.
- La influencia de actuaciones en otras localidades colindantes, identificando la posibilidad de proponer SUDS para dichas áreas y recuperar zonas de marjal litorales, como receptoras de aguas de lluvia.
- La identificación de ubicaciones potenciales para futuros SUDS, tales como plazas y zonas bajas, con el objetivo de favorecer el almacenamiento y reutilización del agua.

Con respecto al cuestionario final, las ventajas más apreciadas de los SUDS fueron la reducción del riesgo de inundaciones y la mejora de la calidad de la escorrentía. Se consideró la incertidumbre con respecto a los costes de mantenimiento como el inconveniente más destacable. Sin embargo, los asistentes indicaron que las ventajas parecen ser superiores a los inconvenientes y se percibió cierta aceptación hacia la realización de actuaciones futuras en el municipio.

#### *2.3.4. Lecciones aprendidas*

La metodología aplicada en el desarrollo del taller a escala municipal puede ser de utilidad para procesos de toma de decisiones conjunta. Se considera que con el desdoblamiento entre las fases de grupo e individual se obtiene una mejor visión del conjunto, ya que permite a los asistentes expresarse en distintos formatos. Se recomienda tener un guion preparado para la fase de grupo; es importante en esta fase que haya solo una conversación dentro del asunto tratado.

En la bibliografía sobre participación se suele hablar de la importancia de fomentar las aportaciones de todos los asistentes (Blackstock et al., 2007). El procedimiento realizado sugiere que es importante estar pendiente de que las participaciones sean equilibradas, sin resultar intimidatorio ni agresivo para las personas menos comunicativas, quienes podrán aportar en el cuestionario individual.

### **2.4. Escala barrio: codiseñar soluciones a escala barrio (Proyecto CoSuDS, Castellón)**

#### *2.4.1. Motivación*

El proyecto CoSuDS (*Collaborative transition towards sustainable urban drainage: making it happen at district scale*), proyecto europeo financiado por la plataforma Climate-KIC, dentro del programa Pathfinder, contó con una duración de 6 meses en 2016. El proyecto, coordinado por el Instituto de Investigación de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente de la Universitat Politècnica de València (IIAMA-UPV), tenía como objetivo principal favorecer la transición hacia una gestión más eficiente y sostenible del agua de lluvia en las ciudades.

#### *2.4.2. Metodología*

El proyecto incluyó el diagnóstico y análisis del barrio Raval-Universitari de la ciudad de Castellón (municipio piloto) donde existía un problema de drenaje urbano, con el objetivo de establecer una serie de sesiones colaborativas para plantear, analizar y definir la estrategia óptima de gestión sostenible del agua de lluvia en el barrio piloto. Las tres sesiones colaborativas contaron con la participación de una treintena de agentes vinculados a la gestión del agua en la ciudad o a escala regional y nacional, el desarrollo urbano y la sostenibilidad ambiental, con el objetivo de integrar experiencias, demandas e intereses de múltiples actores, cubriendo las cuatro categorías identificadas en la cuádruple hélice.

2.4.3. *Resumen de resultados obtenidos*  
 Las sesiones colaborativas permitieron la identificación de:

- Potencialidades para una mejor gestión del agua de lluvia (viales anchos, participación activa de la ciudadanía, impulso de la movilidad sostenible y la concienciación medioambiental por parte de la administración local).

- Barreras al cambio como puedan ser los costes de renaturalización asociados a la modificación del espacio urbano actual.

- Oportunidades que el nuevo contexto político, económico y social ofrece, con un mayor impulso de la gobernanza participativa y de la consideración de aspectos como la sostenibilidad, la transparencia y la eficiencia en el uso de los recursos.

- Necesidad de incorporar a actores vinculados a otros barrios de la ciudad para orientar e impulsar el desarrollo urbano de otras áreas.

Además, incluyó la definición de la visión para la ciudad (“Castellón bandera verde: ciudad amable y sostenible - Renaturalizando el ciclo urbano del agua”) y la identificación de soluciones para el barrio piloto por tipología y ámbito de actuación (figuras 6 y 7).

#### 2.4.4. *Lecciones aprendidas*

El proyecto proporcionó herramientas prácticas e innovadoras para favorecer la transición hacia una gestión eficiente y sostenible del agua de lluvia. Se destacan las siguientes lecciones aprendidas:

- La necesidad de contar con la participación de todos los actores, con especial atención a los agentes sociales.

- La necesidad de partir de un marco conceptual común para todos los participantes en el proceso.

- La utilidad de la identificación de barreras a la transición.

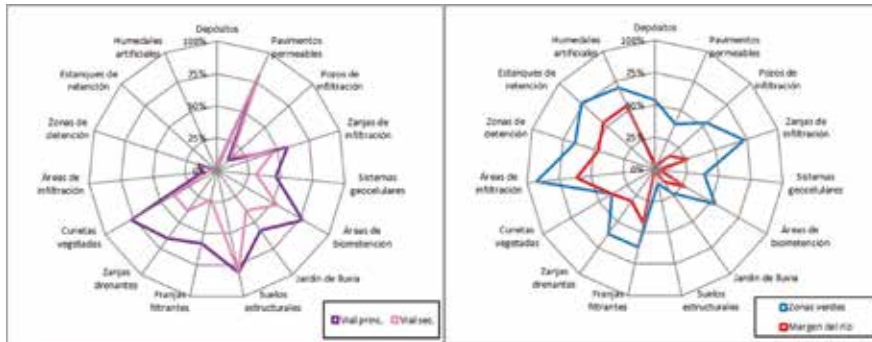


Fig. 6\_ Resultados de la identificación de soluciones por tipología SUDS (Proyecto CoSuDS)



Fig. 7\_ Infografías con ubicaciones piloto para futuras actuaciones (Proyecto CoSuDS)



Fig. 8\_ Factores clave para la mejora de la percepción social de los SUDS



- El valor añadido del planteamiento colaborativo de soluciones, permitiendo la incorporación de múltiples aspectos (desarrollo, movilidad, sostenibilidad, etc.).

# 3

## Conclusiones

Para promover el cambio de paradigma en la gestión sostenible de las aguas pluviales es necesario involucrar a los diferentes actores implicados. Este cambio de modelo de gestión requiere de aplicaciones y procedimientos adaptados a las distintas escalas de actuación. Los aspectos clave que se han identificado en las experiencias expuestas anteriormente se resumen en la figura 8. En especial, destacan tres factores: comunicación, conocimiento e integración.

En primer lugar, son necesarios tanto la comunicación fluida como el trabajo en red. Esto es especialmente importante a nivel nacional, pero también a escala regional. La existencia de redes colaborativas para que los distintos profesionales puedan compartir sus experiencias y contribuir a crear un marco unificado para la aplicación efectiva de los SUDS es esencial. Contribuyen también en esta línea las plataformas web y las bases de datos en las que los técnicos introducen información sobre los proyectos en los que trabajan y suponen una fuente de información y consulta para terceros. Los objetivos prioritarios de las redes colaborativas a nivel nacional son la creación documental, tanto normativa como técnica, que sirva de referencia para todos los actores. Sin embargo, en la escala autonómica estos objetivos se particularizan de acuerdo a las características concretas de la región; ya que la finalidad de las redes regionales es catalizar el proceso hacia el drenaje sostenible a nivel municipal mediante soluciones prácticas.

Otro de los retos para el cambio de paradigma es mejorar el conocimiento social de los SUDS. Para ello resulta

imprescindible dedicar recursos para informar y formar a todos los actores implicados. Esto tiene implicaciones a nivel nacional, pues si los técnicos y la ciudadanía conocen, comprenden y comparten la filosofía de los SUDS, la integrarán y acogerán en sus ciudades. En esta labor tienen gran peso los procesos participativos para la toma de decisiones, principalmente, de diseño de los sistemas a implantar. En estos procesos los técnicos formados dan a conocer los SUDS, preguntan a la ciudadanía por sus necesidades y problemas con relación a la gestión de aguas pluviales y se buscan tipologías de SUDS acordes con la problemática y preferencias identificados. La inclusión de las percepciones de los vecinos evita su descontento, favorece la aceptación de las soluciones adoptadas por parte de las entidades locales y puede alargar el ciclo de vida de las técnicas al implicarse estos en su cuidado y mantenimiento.

Finalmente, cabe comentar que se suele hablar de distintos tipos de actores, atendiendo principalmente a su grado de experiencia y conocimiento con respecto a un tema. La gestión sostenible del agua de lluvia es una cuestión multidisciplinar e integradora. Todas estas visiones son necesarias y, en la práctica, las aportaciones de todos los actores permiten acelerar el cambio de paradigma y contribuir a la implantación efectiva y duradera de los SUDS. 📍

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen la participación y colaboración de los múltiples actores que han formado parte de las distintas acciones descritas en el presente artículo, con especial mención a los proyectos E<sup>2</sup>STORMED (Programa MED, 2013-2015), CoSUDS (Climate-KIC, 2016), ViaSuDS (Generalitat Valenciana, AEST/2016/027) y LIFE CER-SUDS (Programa LIFE 2014-2020 de Medio Ambiente y Acción por el Clima de la Unión Europea, LIFE15 CCA/ES/000091).

## REFERENCIAS

- Blackstock, K.L., Kelly, G.J., Horsey, B.L., 2007. *Developing and applying a framework to evaluate participatory research for sustainability*. *Ecological Economics*, nº 60, pp. 726-742.
- Calcerrada, E., Perales, S., Galán, A., Arrieta, A., 2018. Sistemas de Drenaje Sostenibles (SuDS). Próximos pasos en España y su aplicación en la urbanización La Canyada (Paterna). *Revista de Obras Públicas*, nº 3595, pp. 54-61
- CoSuDS Project, 2016. *Collaborative transition towards sustainable urban drainage: making it happen at district scale. Final report*.
- Guillén, D., 2018. Cuádruple hélice en la gestión territorial. *Cataluña Económica*, pp. 57-59. Edicions Publicanova, Barcelona.
- Observatori del Paisatge, 2010. Paisatge i participació ciutadana. L'experiència dels catàlegs de paisatge de Catalunya. Document 1. Observatori del Paisatge, Departament d'Interior, Relacions Institucionals i Participació, Generalitat de Catalunya.
- Perales, S., Carballo, G., 2017: Los sistemas de drenaje sostenible ya están aquí. *Ciudad Sostenible*, nº 31, pp. 80-81. Jornada RedSuDS 2017. Disponible en: <http://www.ciudadostenible.eu/numeros-anteriores/numero-31/>
- Perales-Momparler, S., Andrés-Doménech, I., Andreu, J., Escuder-Bueno, I., 2015. A regenerative urban stormwater management methodology: the journey of a Mediterranean city. *Journal of Cleaner Production*, nº 109, pp. 174-189.

SUSANA  
**Canogar**

Master in Landscape Architecture  
(UC Berkeley).

Directora de Evergreen Paisajismo



# El valor social y ambiental de los SUDS

en el diseño de las zonas verdes:  
el caso de Valdebebas

## RESUMEN

En el diseño de las zonas verdes de Valdebebas (Madrid) los SUDS han formado parte del abanico de soluciones que se han usado para crear unas zonas verdes de calidad para el uso y disfrute de los vecinos, optimizando los recursos de agua y mejorando el microclima de la urbanización.

## PALABRAS CLAVE

Gestión del agua sostenible, diseño zonas verdes, pavimento permeable

## ABSTRACT

*In the design of the green zones at Valdebebas (Madrid), SuDS have formed part of the range of solutions employed to create quality green spaces for the use and enjoyment of residents, optimising water resources and improving the microclimate of the urban development.*

## KEYWORDS

*Sustainable water development, design of green spaces, permeable pavement*

# 1

## Introducción

Las zonas verdes en la ciudad son un aspecto crucial para la vida urbana, mejorando la convivencia y la calidad de vida de sus ciudadanos. Cada vez más se habla de la importancia de las zonas verdes entendidas como infraestructura verde de la ciudad, tan importante –o más– que otras infraestructuras urbanas, y su importante papel como lugar de esparcimiento y actividad física, pero también como sistema al servicio de la ciudad para mejorar la calidad del aire, para la gestión de pluviales o para contrarrestar los eventos climáticos erráticos que se vienen sucediendo en todo el mundo como consecuencia de los efectos del cambio climático.

En la ciudad consolidada existen oportunidades para ir adaptando las zonas verdes bajo esta nueva óptica, pero es en el diseño de las nuevas zonas urbanas donde mayor impacto puede tener la adopción de las llamadas medidas LID (*Low Impact Development*), con un cuidado diseño de las zonas verdes urbanas para integrar los múltiples servicios ambientales que ofrecen las zonas verdes en la ciudad. La gestión del agua es uno de los aspectos en que los paisajistas incidimos más, para mejorar la funcionalidad de las nuevas zonas urbanas, aprovechando el agua para crear jardines más frondosos, y asegurando un drenaje adecuado para las plantaciones para evitar el encharcamiento de las raíces y deterioro de plantas y árboles. En este esquema los SUDS adquieren un valor social además de ambiental, ya que en definitiva contribuyen al uso y disfrute de los parques y jardines por el ciudadano.

En este artículo se quiere repasar la trayectoria de más de 10 años en la implantación de sistemas SUDS en la urbanización de Valdebebas, en Madrid. La gran escala de la actuación hace que las experiencias que se ha desarrollado en este ámbito tengan una gran utilidad



Fig. 1\_ Aspecto general del conector verde

a la hora de su aplicación a proyectos urbanos en general.

# 2

## Origen del proyecto

Valdebebas es un nuevo desarrollo urbano de 1.065 hectáreas en la zona norte de la ciudad de Madrid, junto a la Terminal 4 del aeropuerto y el IFEMA, con un 50 % de la superficie dedicada a zonas verdes y con una densidad alta de edificación, con bloques de hasta 10 pisos de altura.

En la actualidad ya viven en Valdebebas más de 15.000 personas, pero eventualmente tendrá una población de 50.000 personas. El sector terciario no acaba de arrancar, por lo que aun falta por completar el componente de uso mixto, un aspecto básico para evitar los problemas de una ciudad dormitorio.

De iniciativa privada, desde sus inicios la Junta de Compensación de Valdebebas apostó por un modelo sostenible de ciudad, y en particular por el paisajismo y el diseño de sus zonas verdes, como una manera de mejorar el modelo de



Fig. 2\_ Zonas infantiles en sombra en los conectores verdes

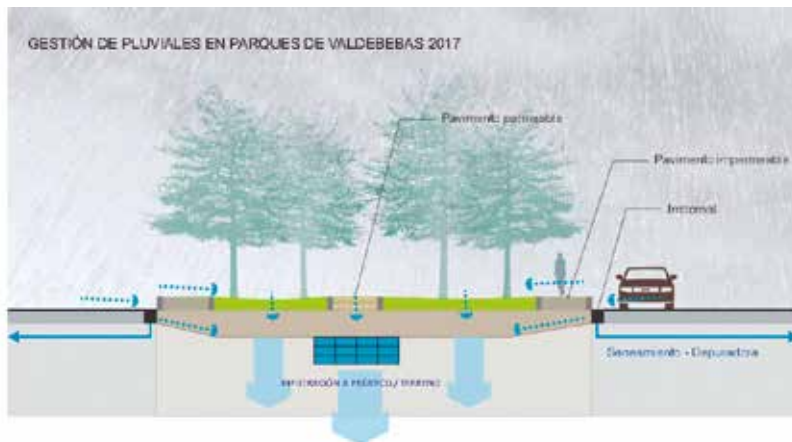


Fig. 3\_ Esquema mejorado de SUDS en Fase 2

desarrollo que se venía realizando en Madrid hasta entonces. Se densificó la huella urbana para favorecer un mayor vigor urbano mientras que un 50 % de la superficie del ámbito se destinaba a parques. Esta apuesta por lo verde, en plena fiebre del ladrillo, ha permitido que –a pesar de la fuerte crisis que se ha vivido– el desarrollo urbano de Valdebebas siga siendo un referente de calidad en Madrid, lugar donde se ha agotado prácticamente el suelo residencial.

El equipo de paisajismo ha desarrollado su labor desde el 2004, participan-

do activamente en todas sus etapas. En un principio en el planeamiento, donde se materializó la propuesta de una red de zonas verdes, formada por los parques urbanos, un gran parque central sobre el que gira todo el desarrollo y antesala del parque forestal de 380 hectáreas. El equipo del entonces SC Paisajismo desarrolló en detalle las 24 hectáreas de zonas verdes urbanas, entre ellas los conectores verdes, bulevares ajardinados en los que se concentra la función medioambiental incluyendo el sistema de drenaje urbano sostenible SUDS.

### 3 Gestión eficiente del agua

Valdebebas fue conectada a la red municipal de agua regenerada, un recurso valioso, pero sobre la que existía muy poca experiencia previa sobre su gestión. Coincidió en el tiempo con la aprobación de la Ordenanza del Uso Eficiente del Agua de la Ciudad de Madrid (OUEAM) y Valdebebas fue el primer ámbito donde se aplicó dicha normativa. El consumo de agua se adaptó al cumplimiento de 2.500 m<sup>3</sup>/ha como viene establecido en la OUEAM, pero se tuvieron que tomar toda una batería de medidas, entre las que se encontraba la creación de un sistema de drenaje sostenible:

- Práctica eliminación de zonas de césped en las zonas verdes (aproximadamente un 3 % de la superficie).
- Se recurrió a una paleta de plantas con bajas necesidades hídricas, en particular las gramíneas ornamentales, que por otra parte se integraban mejor en el paisaje del extrarradio de Madrid.
- Se optó por el riego con goteo enterrado, para aumentar la eficiencia en la aplicación de agua en la zona de raíces y para reducir la evapotranspiración y el vandalismo.
- Se instaló un ordenador central con estación meteorológica, para un mejor control y adaptación a la meteorología.
- La creación de jardines de lluvia, con las zonas de plantación a una cota ligeramente inferior a los pavimentos, como parte del drenaje sostenible.

### 4 Primera vez que se implantan SUDS a gran escala en Madrid

Durante la elaboración del proyecto de urbanización en 2004 ya se trató con

la ingeniería del proyecto (GIS), la posibilidad de incluir el sistema SUDS en las 24 hectáreas de zonas verdes, para un mejor aprovechamiento del agua de lluvia y no perder este valioso recurso hídrico, que de otra forma se canaliza al sistema de saneamiento y a la depuradora. Aunque no había a penas experiencias en Madrid sobre el tema, se trató con los técnicos del Ayuntamiento asignados al proyecto, que vieron las múltiples ventajas que suponía la implantación de este sistema y se dio la luz verde.

Además de los cálculos necesarios para dimensionar el sistema, se tomaron otras medidas complementarias. Todos los pavimentos de los caminos y plazas se diseñaron con pendiente hacia los parterres para aumentar la recogida de agua, se puso un énfasis en la composición y textura de las tierras para evitar una excesiva retención de agua que pudiera perjudicar las plantaciones, y en los puntos bajos de los bulevares se instalaron pozos para recoger el agua que no absorbía el terreno, para su almacenamiento y liberación paulatina hacia el freático.

La estrategia de la Junta de Compensación fue completar gran parte de las 531 hectáreas de zonas verdes antes de que llegaran los primeros vecinos, como ayuda a una mejor venta de vivienda. Los parques estaban prácticamente hechos antes de que llegara un solo vecino. Desgraciadamente, una vez terminada la urbanización en el año 2010, el ámbito se quedó prácticamente parado con la crisis económica. Solo algunas promociones de vivienda protegida fueron construidas. Los vecinos eran pocos y sin a penas ninguna de las ventajas previstas para el ámbito, debido a que no se llegaba al umbral de residentes para poner en marcha el comercio, transporte público etc. Incluso las zonas verdes, una de las razones para comprar vivienda en Valdebebas, sufrieron un gran deterioro debido a la falta de mantenimiento.



Fig. 4\_ Eje parques de centralidad

## 5 Nueva fase de construcción de parques

En el año 2015, superado lo peor de la crisis económica, empezó nuevamente a haber actividad económica y la Junta de Compensación puso en marcha algunas de las zonas verdes que aun quedaban por completar, para acabar con los compromisos de urbanización. Nuestro equipo diseñó los llamados Parques del Eje de Centralidad, un eje con 5 parques que venían a sumar otras 6 hectáreas de zonas verdes. En los 5 años que habían transcurrido desde la instalación del primer SUDS, se habían producido avances para mejorar estos sistemas, que además se benefició de la participación de la ingeniería Green Blue Management. Tres de los cinco parques de este nuevo eje verde se han completado recientemente.

En esta nueva fase se aumentaron las superficies permeables respecto a los primeros parques, en los tres primeros parques ya ejecutados pasando de un 52,92 % a un 83,24 % de pavimento permeable, y se aprovechó mejor la topografía para conducir el agua superficial hasta las zonas de plantación, con una marcada concavidad de éstas para aumentar la capacidad de retención de agua de tormentas. Se usó un sistema

más sofisticado para el cálculo del sistema SUDS y se han dejado pozos para poder hacer un seguimiento del sistema.

El primer parque, la llamada parcela 33 (ver esquema ubicación de parques), junto al gran parque central en el centro de la urbanización, tenía como particularidad ser un lugar que debía funcionar como pequeña plaza. La zona central ajardinada recibe las aguas del entorno, pero la explanada de pavimento con pendiente a su alrededor recomendaba tomar medidas adicionales para la recogida de aguas de tormenta. El equipo desarrolló un detalle constructivo para pavimento permeable, utilizando losas de hormigón prefabricado con junta de 1 cm, siguiendo las experiencias en otros países. La empresa de pavimentos Quadro participó en esta experiencia y aportó unos moldes para piezas autoblocantes con las dos piezas en proyecto, y así facilitar la ejecución. La experiencia ha sido todo un éxito y el pavimento permeable se utiliza ya en muchos lugares de la ciudad, por sus evidentes ventajas a la hora gestionar el agua de tormenta y puede ser utilizado en zonas de paso vehicular.

Unas praderas cóncavas en las parcelas 21 y 23, donde se concentra el resto de la superficie de césped permitida en Valdebebas, sirve para la recogida de agua y es donde se encuentran enterrados los



Fig. 5\_ Jardín de agua en el parque

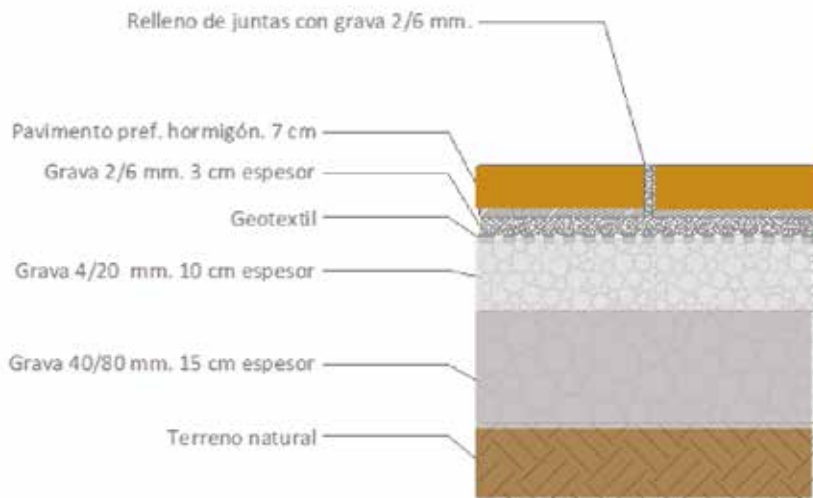


Fig. 6\_ Detalle constructivo de pavimento permeable

pozos con cajas de infiltración, y a la vez ofrece un lugar de ocio libre, donde grupos pueden jugar a la pelota o tumbarse a tomar el sol.

## 6 Estudios sobre SUDS en Valdebebas

En el 2017 se realizó un estudio conjunto entre la Universidad Politécnica de Madrid, Green Blue Management y Evergreen Paisajismo<sup>1</sup> para comprobar como

había funcionado el sistema. Se trató de una comparación entre un sistema convencional de saneamiento CUDS como control y entre las dos fases de SUDS en la urbanización, con el sistema mejorado de la segunda fase. Se utilizaron datos concretos de una tormenta, con mediciones de la cercana estación meteorológica del aeropuerto de Barajas. Entre las conclusiones de mayor relevancia, y como era de esperar, el sistema SUDS era mucho más eficaz en gestionar las aguas de una tormenta, especialmente un evento extremo, y se reducía sensi-

blemente el agua que llegaba eventualmente al sistema de saneamiento de los viales, reducción superior a un 44 % en los parques de la Fase 1 y una reducción del 85 % en el sistema mejorado.

También se pudo calcular que el uso de SUDS en Valdebebas se traduce en aproximadamente un 10 % de reducción de gasto energético y emisiones de GHG. Se utilizó el *software* E<sup>2</sup>STORMED que incluye el factor energético y criterios ambientales a la hora de tomar decisiones sobre la gestión del agua, consumo de energía y emisiones GHG desde un enfoque de ciclo de vida.

En resumen, el uso del sistema SUDS en Valdebebas ha sido todo un éxito, demostrando que el drenaje sostenible debe ser la norma en las ciudades, ya que se reduce la pérdida de agua al sistema de saneamiento, se reducen los costes de depuración y cánones de vertido, y adicionalmente es más económico de instalar que un sistema tradicional CUDS. ☺

### NOTAS

(1) *Techniques and criteria for sustainable urban stormwater management. The case study of Valdebebas (Madrid, Spain)*. L. Rodríguez-Sinobas, S. Zubezu, S. Perales-Momparler, S. Canogar. *Journal of Cleaner Production* 172 (2018)

# Reducción de descargas de sistemas de alcantarillado unitario

adoptando técnicas de drenaje urbano sostenible

El caso práctico del A.P.E. 18.06  
La Atalayuela (Madrid)

JUAN  
**Fisac**

Ingeniero de Caminos,  
Canales y Puertos.  
IGB Ingeniería Básica



MANUEL  
**de Pazos**

Ingeniero de Caminos,  
Canales y Puertos.  
Ayuntamiento de Madrid



SOFÍA  
**Rodríguez**

Ingeniera Agrónomo.  
Ayuntamiento de Madrid



ENRIQUE  
**Montilla**

Ingeniero Civil.  
Ayuntamiento de Madrid



# 1

## Introducción

### RESUMEN

Los criterios adoptados en La Atalayuela, parque de 9,40 hectáreas, ponen a prueba los modos tradicionales de entender la gestión de escorrentías en el entorno urbano.

Las premisas de diseño fueron:

- Invariancia hídrica, adecuando el diseño a la morfología del terreno.
- Utilización de zanjas de drenaje como alternativa a los tubulares.
- Implantación de jardines de lluvia generando cuencos de infiltración.
- Reducción del coeficiente de escorrentía en las zonas urbanizadas mediante el uso de pavimentos permeables.

Esta forma de repensar y reconstruir el ciclo hidrológico a través de la naturalización del paisaje urbano contribuye, junto con otros muchos beneficios de innegable valor, a crear espacios saludables para sus habitantes y aumentar la calidad del entorno en su sentido más amplio.

### PALABRAS CLAVE

Drenaje urbano, infraestructura verde, laminación, infiltración

### ABSTRACT

*The criteria adopted at the 9.4 hectare La Atalayuela industrial estate challenge the traditional methods of managing urban surface water run-off.*

*The design criteria were:*

- *Hydraulic invariance, adapting the design to the morphology of the land.*
- *Use of drainage trenches as an alternative to pipes.*
- *Introduction of rain gardens that act as infiltration points.*
- *Reduction of the run-off coefficient in urban areas by the use of permeable pavement.*

*This form of reconsidering and reconstructing the hydrologic cycle by the naturalisation of the urban landscape contributes, among many other benefits of irrefutable value, to the creation of healthy spaces for its inhabitants and to improving the quality of the surroundings in the broadest sense of the word.*

### KEYWORDS

*Urban drainage, green infrastructure, lamination, infiltration*

La zona verde proyectada, de 94.000 m<sup>2</sup> aprox., se localiza en el ámbito urbanístico A.P.E.18.06-RP “Vallecas-La Atalayuela”, localizado en el sureste de la ciudad de Madrid.

El área de intervención disponía de dos zonas claramente diferenciadas. De una parte, se identificaba el cerro de La Atalayuela, prácticamente inalterado con el paso del tiempo, que alcanza una cota superior a los 631 m, en el que se aprecian tonos blanquecinos formados por materiales con abundantes yesos. De otra, el resto del terreno, sí había sufrido un evidente deterioro con motivo de los vertidos incontrolados realizados a lo largo del tiempo. Estos vertidos habían conferido al terreno un aspecto plano con una gran superficie cuya cota media se situaba en torno a los 620 metros.

Toda la zona goza de protección arqueológica, por lo que las obras se han ejecutado con el correspondiente seguimiento arqueológico.

El cerro de La Atalayuela es el único elemento del ámbito urbanístico que posee un valor significativo por su incidencia visual y calidad paisajística, cualidades que se han pretendido mantener mediante su integración en la zona verde.

Los Sistemas de Drenaje Sostenible (SUDS) adoptados, aparte de facilitar la gestión en origen de las aguas procedentes de las lluvias, han sido proyectados sin necesidad de ejecución de zanjas profundas para la realización de los colectores de recogida de las aguas pluviales, garantizando de este modo la protección arqueológica de la zona y el cumplimiento de la autorización de la Dirección General de Patrimonio de la Comunidad de Madrid.

El diseño de la zona verde tiene características de transición entre parque urbano y paraje natural.

Las plantaciones se han realizado con diferentes criterios en función de las distintas áreas del parque. Destacan tres actuaciones:

1. La creación de una masa de pino piñonero en la zona de transición con el parque de La Gavia.
2. La plantación de masas arbóreas y arbustivas en la zona comprendida entre el pinar y el cerro, en la que se localizan los usos del parque.
3. El mantenimiento de la vegetación original del propio cerro, sin apenas intervención.

En la elección de especies se ha tenido en cuenta su adaptación a las condiciones climáticas de la zona, el uso de especies con bajos requerimientos hídricos y su tolerancia a suelos con presencia de yesos.





Fig. 1\_ Planta general de la actuación

## 2 Planteamiento inicial del proyecto de urbanización

El proyecto de urbanización, redactado en el año 2005, contemplaba una solución tradicional, consistente en la captación mediante imbornales y rejillas sumidero y su conducción mediante una red de alcantarillado tubular, hasta la conexión con la red general municipal.

La solución proyectada contemplaba, solo en la red interior de la zona verde, la ejecución de 2.118 m de colectores de diámetros comprendidos entre 400 y 500 mm, así como 252 m de canaletas y 18 pozos absorbadero. Siendo la inversión contemplada para la ejecución de dichas obras de 295.000 € aproximadamente.

## 3 Sistemas urbanos drenaje sostenible (SUDS) en zona verde

Toda actuación de drenaje sostenible debe contemplar tanto la calidad del recurso hídrico, como la geomorfología del emplazamiento. El conocimiento de ambas premisas permitirá valorar la toma de decisiones en cuanto a:

- Infiltración o laminación.
- Necesidad de pretratamiento o posibilidad de gestión directa.

Por la orografía del terreno, la zona verde no recibe escorrentías superficiales de parcelas colindantes, ni del viario, evitando la posibilidad de contaminación por aceites e hidrocarburos. En

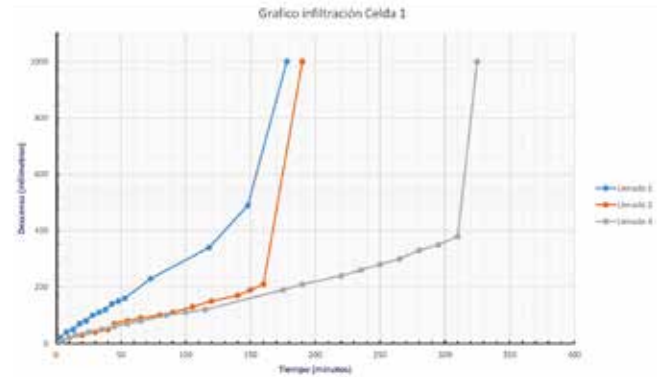


Fig. 2\_ Gráfico de infiltración ensayo británico

consecuencia, al ser caudales exclusivamente pluviales, sin aportaciones del exterior, y tratarse de un espacio libre con coeficiente de escorrentía bajo, se presentan las condiciones idóneas para plantear sistemas de drenaje sostenible.

Descartada la necesidad de adopción de sistemas de pretratamiento, básicamente áreas de biorretención, se determinó la permeabilidad del terreno y de esta forma, la capacidad de infiltración.

Los ensayos de permeabilidad fueron realizados conforme a la metodología establecida por la asociación británica para el desarrollo del conocimiento en materia de mejora medioambiental, Building Research Establishment Ltd, en el monográfico Bre Digest 365. El ratio de infiltración del terreno fue del orden de  $K= 5 \times 10^{-1}$  m/s.

La bibliografía de referencia establece que a partir de coeficientes de permeabilidad superiores a  $10^{-5}$ , se puede considerar cierto grado de permeabilidad en el terreno. Por tanto, el valor obtenido se corresponde con una permeabilidad alta, siendo posible la infiltración.

La naturaleza geológica del suelo es la propia del sureste madrileño, con transiciones tosco peñuela y presencia de yesos, siendo común su disolución y evolución a lo largo del tiempo. Este hecho podría ser suficiente para cuestionar la idoneidad de adoptar técnicas de infiltración.

No obstante, atendiendo a que el grueso de la zona verde se configura como espacio libre, menos del 3 % de la superficie se encuentra pavimentada, siendo el coeficiente de escorrentía significativamente inferior al de una zona urbanizada y puesto que no se prevé la ejecución de edificaciones o instalaciones que requieran cimentaciones profundas, se primó la posibilidad

de reducir la frecuencia de las descargas del sistema unitario, estableciéndose como objetivo el vertido cero.

Al objeto de preservar los patrones naturales, evitando la concentración de caudales, se procedió a realizar un análisis topográfico tridimensional. Se delimitaron las cuencas vertientes, así como las direcciones de los flujos predominantes y su punto bajo.

El volumen de retención necesario para garantizar la infiltración en el terreno en un plazo máximo de 48 horas, en función del coeficiente de permeabilidad obtenido, es de 375 m<sup>3</sup>, calculado a partir de una precipitación de 62 mm/h.

## 4 Zanjas drenantes

Para recibir las aguas pluviales que no son gestionadas por el propio terreno, con el fin de evitar los daños ocasionados por la escorrentía superficial, se proyectaron zanjas drenantes de guarda en las cabezas de talud, así como a lo largo de las sendas peatonales.

Las zanjas drenantes ejecutadas tienen unas dimensiones de 80x30 cm, acabadas con una capa de grava decorativa de



Fig. 3\_ Ensayo británico de permeabilidad

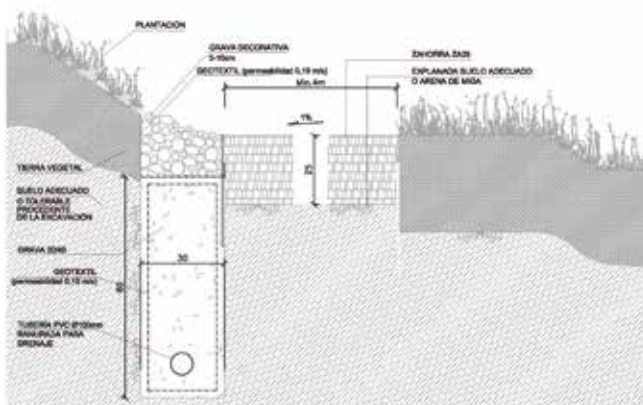


Fig. 4\_ Sección tipo zanja drenante en paseos

5 cm de espesor, sobre un geotextil para facilitar el mantenimiento ordinario. En su conjunto se han ejecutado 2.780 m de zanjas drenantes.

Las zanjas han sido diseñadas tanto para facilitar la laminación como la infiltración a lo largo de la traza y no simplemente la evacuación de caudales. La pendiente longitudinal del dren se ha reducido a valores inferiores al 1,0 %, ejecutando zanjas con ligeros resaltes y profundidad variable, de forma que la circulación del fluido se garantiza por el gradiente de la columna de agua y no se priorice la capacidad de desagüe por el valor de la pendiente.

La sección de las zanjas se compone de geotextil Geotexan NT-15, grava 20-40 mm y tubo dren Ø100 mm.

## 5 Jardines de lluvia

Como ya se ha indicado, uno de los aspectos fundamentales que justificaban la actuación, fue demostrar la viabilidad de plantear soluciones de drenaje sostenible de forma sencilla, en entornos de bajo riesgo, sin necesidad de elaborar complejos modelos de comportamiento hidráulico y análisis de infiltración, por lo que, como medida de seguridad complementaria, se completó la capacidad de las zanjas drenantes con pozas de infiltración aguas abajo de las mismas, en cada cuenca vertiente.

Al tratarse de una zona verde, con numerosas sendas peatonales, la integración paisajística de la propuesta era prioritaria, de ahí que no se concibieran como meras pozas, sino como jardines de lluvia, en los que el área de inundación se compatibiliza con las zonas de plantación.

El conjunto de jardines de lluvia realizados garantiza un volumen de retención complementario al de las zanjas de 390 m<sup>3</sup>. Diseñadas para que su totalidad se infiltre en un plazo no superior a 48 horas, con nivel máximo de llenado inferior al metro y talud lateral suave para garantizar que no exista riesgo de caída a distinto nivel.



Fig. 5\_ Vista general jardín de lluvia



Fig. 6\_ (a) Captura 10 de octubre de 2018; (b) captura 11 de octubre de 2018

Durante la ejecución de las obras se produjeron diversos episodios de precipitación que permitieron comprobar la viabilidad de las soluciones ejecutadas. Los registros del 9 de octubre de 2018 presentan valores de 17 mm, superiores al percentil 80 (15 mm) tomado como referencia para el diseño de los sistemas de gestión sostenible de aguas pluviales en la ciudad de Madrid, conforme se establece en la “Guía Básica de Diseño de Sistemas de Gestión Sostenible de Aguas Pluviales en Zonas Verdes y otros Espacios Libres”, editada por el Ayuntamiento de Madrid en noviembre de 2018.

Se incluyen sendas fotografías tomadas con un intervalo de un día, en las que se demuestra operatividad de este tipo de soluciones.

## 6 Pavimentos permeables

Todas las plazas diseñadas tienen en común una base de Zahorra Artificial Drenante de 35 cm de espesor compactada al 95 % del Proctor Modificado.

En cada una de las plazas se ha realizado un paquete de firme diferente, con objeto de poder evaluar su comportamiento con el transcurso del tiempo, y la evolución de la permeabilidad real, en base al valor inicial obtenido mediante ensayo experimental, realizado por el laboratorio de control de calidad de la obra.

Se han realizado ensayos de permeabilidad LCS, conforme a la norma tecnológica NTL-127, obteniéndose en la ZAD un valor medio de porcentaje de huecos de 24,7 %.

De forma complementaria, en la sección de firme completa, se han realizado diversos ensayos de permeabilidad mediante una técnica experimental de termografía, basada en las medidas de la superficie mojada de pavimento que se produce bajo la aplicación de un caudal constante de valor conocido, obteniendo unos valores del coeficiente de permeabilidad  $K$  comprendidos entre 30 y  $58 \times 10^{-2}$  cm/s.

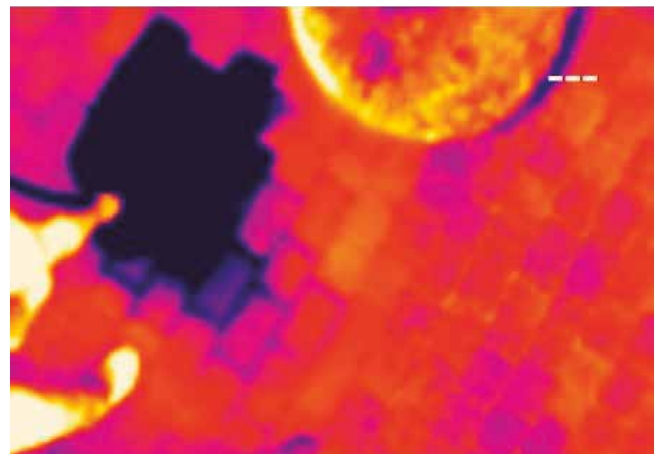


Fig. 7\_ Imagen termográfica del ensayo

El paquete de firme común a todas las plazas está constituido por un adoquín drenante por junta autoblocante de 8 cm de espesor, asentado sobre una cama de gravillín de 4 cm de espesor y todo ello sobre la subbase de ZAD indicada anteriormente (35 cm), realizándose ensayos de permeabilidad en todos los paquetes de firmes mediante caudalímetro y termografía (fig.7).

En tres de ellas se ha intercalando una lámina geotextil entre la cama de asiento de gravillín y la zahorra drenante. El geotextil es del tipo no tejido, 100 % de fibras vírgenes de polipropileno, con un valor de permeabilidad al agua 0,100 mm/s y porometría O90 61  $\mu$ m. El motivo de no incluirla en una de las cuatro superficies pavimentadas, ha sido valorar la incidencia de la colmatación del filtro en el coeficiente de permeabilidad.

Durante la fase de diseño se planteó si la gestión de la escorrentía de forma subsuperficial en grandes superficies pavimentadas, las cuatro plazas en su conjunto disponen de una superficie aproximada de 2.800 m<sup>2</sup>, pudiera presentar algún riesgo para la estabilidad de la explanada que se reflejase en superficie. Para evitarlo, se comprobaron las características mecánicas de la explanada natural y se procuró que el índice CBR de la ZAD 20 fuera lo más elevado posible, además en una de las plazas se



Fig. 8 y 9\_ Colocación del adoquín permeable por junta sobre gravillín



Fig. 10\_ Vista general con plazas de pavimento permeable en primer término

realizó un refuerzo mediante geomalla simétrica de resistencia a tracción 80 kN/m en ambas direcciones, lo que permitirá comprobar su evolución a lo largo del tiempo.

Una vez analizadas las distintas soluciones planteadas, para valorar de forma objetiva la repercusión que han supuesto las técnicas de drenaje urbano sostenible, frente al planteamiento de colectores inicial, resulta importante realizar un análisis de coste.

La inversión realizada en las obras de drenaje (zanjas de drenaje; grava decorativa incluyendo jardines de lluvia; túneles de infiltración; zanja drenante y geotextiles de refuerzo) asciende aproximadamente a 61.000 €.

## 7

### Conclusiones

La finalización de las obras se produjo en el verano del año 2018, por lo que se desconoce el comportamiento y evolución a largo plazo de los sistemas de drenaje realizados. No obstante, cabe destacar que durante el año hidrológico transcurrido, en la ciudad de Madrid se han presentado episodios pluviométricos muy significativos, alcanzando la intensidad de lluvia valores de 147 mm en el mes de marzo, que han sido gestionados adecuadamente, sin que se produzcan vertidos desde la zona verde a la red de alcantarillado existente en el viario perimetral de la misma. Por tanto, a priori, se ha logrado el objetivo de vertido cero, sin necesidad de adoptar medidas estructurales más complejas, tales como tanques de tormentas.

El planteamiento realizado, con medidas de integración del diseño de la propia zona verde y del drenaje que la acompaña, preservando los patrones de drenaje naturales preexistentes, evitando grandes movimientos de tierras que conducirían a concentración de cuencas o al menos su alteración, redundará a su vez en una importante optimización de la inversión y reducción de recursos industriales consumidos. Atendiendo a las estimaciones económicas reflejadas, la solución adoptada, exclusivamente desde el punto del sistema de drenaje, supone que la inversión necesaria ha sido aproximadamente un 21 % de la prevista con alcantarillado tradicional. 📍



SOLEDAD  
**Checa**

Ingeniera de Caminos, Canales y Puertos.  
Jefa de Servicio de la Oficina Azul

El Ayuntamiento  
de Madrid  
avanza hacia la  
normalización de

# la gestión de aguas de lluvia mediante SUDS en zonas verdes

## RESUMEN

Es voluntad del Ayuntamiento seguir avanzando en modelos más sostenibles de gestión de aguas pluviales, con el propósito de evitar sobrecargas en los sistemas de saneamiento municipales y resolver problemas locales de encharcamientos y formación de cárcavas en zonas verdes y espacios libres de la ciudad. Para ello, se ha elaborado una guía que marcará unas directrices básicas de diseño y dotará a los técnicos de herramientas de cálculo de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) de forma sencilla, con parámetros de diseño específicos de la ciudad de Madrid (lluvia tipo, caracterización de suelos, etc.).

## PALABRAS CLAVE

Madrid, guía, ordenanza, SUDS

## ABSTRACT

*The City Council has the intention to continue advancing towards more sustainable models of managing stormwater to prevent the overloading of municipal drainage systems and resolve local problems of waterlogging and the formation of gullies in green areas and free spaces in the city. To this effect, the council have prepared a guide, establishing the basic design guidelines and providing technicians with simple calculation tools for Sustainable Urban Drainage Systems (SUDS), with specific design parameters for the city of Madrid (standard rainfall, soil type. etc.).*

## KEYWORDS

*Madrid, guide, regulation, SUDS*

La grave sequía sufrida en Madrid en el año 2005 marcó un punto de inflexión en la estrategia de gestión del agua en la ciudad, pasando de un modelo de gestión de la oferta a otro de gestión de la demanda, con la puesta en marcha de un importante conjunto de medidas de ahorro, eficiencia y reutilización a través del Plan de Gestión de la Demanda de Agua en la Ciudad de Madrid, reguladas normativamente mediante la Ordenanza de Gestión y Uso Eficiente del Agua, aprobada en el año 2006.

Los objetivos de esta nueva forma de gestión iban principalmente encaminados a garantizar el suministro de agua a los madrileños, en cantidad y calidad, con una meta primordial de ahorro de agua potable, que se ha visto cumplida, pasando de un consumo medio de 156 litros/hab/día en el año 2005 a los 126 litros/hab/día consumidos en 2018, siendo el año de menor consumo de la serie el 2013, período en el que cada habitante de la ciudad tuvo un gasto diario medio de 124,6 litros de agua.

Sin embargo, tanto el Plan de Gestión de la Demanda como la Ordenanza fueron concebidos como instrumentos para la gestión del ciclo integral del agua y, por lo tanto, no se limitan a establecer metas de ahorro en el consumo, sino que se rigen también por objetivos relativos a la gestión de aguas residuales y pluviales: conciliar la planificación de los desarrollos urbanos con la gestión sostenible de las aguas de escorrentía, disminuir la carga contaminante de los efluentes vertidos a los cauces, para impedir el deterioro de los recursos hídricos y de los ecosistemas fluviales y, finalmente, proteger el sistema de saneamiento municipal, evitando sobrecargas en la red de alcantarillado y en las estaciones depuradoras.

Para ello, la Ordenanza de 2006 incluye la obligación de elaborar planes de control de la erosión y contaminación del agua en zonas en construcción y obras en la vía pública, para una adecuada gestión de las aguas de escorrentía, de

modo que se evite el deterioro de los recursos hídricos y se minimice el arrastre incontrolado de materiales hasta la red de drenaje municipal.

Otra medida puesta en marcha para la consecución de estos objetivos, muy novedosa en su día, fue el requisito obligatorio de incluir un porcentaje mínimo de pavimentos permeables en todas las actuaciones de urbanización, incluidos proyectos de urbanización de planeamiento, los proyectos de obra de urbanización de espacios libres y los proyectos de edificación que definen el tratamiento de espacios libre de parcela. Estos porcentajes mínimos se establecieron en: 20 % para aceras de ancho superior a 1,5 m, 50 % para bulevares y medianas y 30 % para plazas y zonas verdes.

Además, para las zonas ajardinadas es obligatorio favorecer la permeabilidad mediante la utilización de acolchados u otras tecnologías con el mismo fin. Todo ello con objeto de favorecer la infiltra-

ción y evitar en lo posible la compactación del suelo.

En la actualidad, la ciudad de Madrid gestiona sus aguas de lluvia y residuales a través de una red unitaria de más de 4.500 km de longitud. Con el fin de garantizar el buen estado ecológico del río Manzanares, el Ayuntamiento de Madrid puso en marcha el Plan de Mejora de la calidad del río Manzanares, un conjunto de actuaciones que ha supuesto la construcción de 37 estanques de tormenta, con una capacidad de almacenamiento total por encima de 1,3 hm<sup>3</sup>, y de 36 km de grandes colectores a lo largo de las márgenes del río. Gracias a estas infraestructuras se ha reducido significativamente el número de alivios directos al cauce desde el sistema de saneamiento, disminuyendo la media de alivios anuales en un 65 %.

Con estas actuaciones se ha conseguido reducir la contaminación provocada por las aguas de lluvia, minimizando sus impactos ambientales y asegurando la



Pavimento permeable



Aliviadero del tanque de tormenta de Butarque

calidad del agua del río Manzanares, y su ecosistema asociado, cumpliendo con los parámetros impuestos por la Confederación Hidrográfica del Tajo y con los objetivos de la Directiva 91/271, sobre tratamiento de aguas residuales urbanas, que fija límites a las cargas contaminantes de efluentes a los cauces receptores.

El sistema está diseñado para que la dilución mínima de las aguas sin tratar que se vierten al río sea de 1/17, es decir 17 partes de agua de lluvia por 1 parte de aguas negras. Sin embargo, y aunque diluidas, las aguas aliviadas portan una gran cantidad de contaminantes, con la consiguiente alteración de los ecosistemas acuáticos, siendo voluntad de los servicios municipales seguir buscando soluciones que disminuyan esta afección a nuestras masas de agua.

### **REVISIÓN DE LA ORDENANZA DE GESTIÓN Y USO EFICIENTE DEL AGUA (OGUA)**

Transcurridos más de 12 años de la aprobación de la Ordenanza de Gestión y uso Eficiente del Agua, el Ayuntamiento de Madrid ha abordado un proceso de revisión, con el propósito de corregir algunas indefiniciones del texto vigente, de dar cumplimiento a las nuevas direc-

trices y normativas europeas y españolas, y de avanzar en la solución de los nuevos retos relacionados con la adaptación de la ciudad al cambio climático.

Entre las competencias propias de los municipios, de acuerdo con la Ley Reguladora de Bases de Régimen Local, se encuentra la evacuación y tratamiento de las aguas residuales y, en concreto, la gestión de las aguas de escorrentía. Por lo tanto, la regulación normativa de cualquier sistema de gestión de aguas de lluvia debe articularse a través de ordenanzas municipales.

En lo que se refiere a las novedades legales, la ordenanza actualizada debe tener en cuenta la necesidad de integrar diversas normativas relacionadas con los planes hidrológicos de cuenca y el reglamento de dominio público hidráulico, la gestión de riesgos de inundación, caudales ecológicos, reservas hidrológicas y vertidos de aguas residuales, estableciendo, con carácter general, requisitos para el diseño de actuaciones en dominio público hidráulico, de forma que las nuevas urbanizaciones, polígonos industriales y desarrollos urbanísticos en general, deberán introducir sistemas de drenaje sostenible que mitiguen el eventual incremento del riesgo de inundación. Es-

tos requisitos, por tanto, deben tener el adecuado desarrollo en el articulado de la OGUA revisada, mediante la definición de los ámbitos de instalación de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS), tomando en consideración si su función será de almacenamiento, infiltración o regulación de caudales de lluvia.

En relación con las modificaciones del clima en nuestra ciudad, y por lo que respecta a las temperaturas, en los últimos años se registra un incremento de la temperatura media mensual anual de las mínimas y máximas diarias, una disminución del número de días en los que se contabilizan episodios de heladas y un incremento sostenido en la duración de las olas de calor. En materia de pluviometría, Madrid experimenta un descenso generalizado en las precipitaciones medias anuales, menos días con lluvia y más eventos con precipitaciones extremas.

Para hacer frente a estos nuevos condicionantes, ya se está evaluando la capacidad del actual sistema de saneamiento (alcantarillas, colectores, estanques de tormenta y estaciones depuradoras) para gestionar estos episodios de lluvias extremas, que cada vez serán menos excepcionales, con el objeto de prevenir inundaciones y vertidos directos al río. Reconociendo que las soluciones deben ir más allá de la mera construcción de nuevas y costosas infraestructuras, el Ayuntamiento de Madrid ha optado por impulsar el desarrollo de técnicas de gestión de la escorrentía en origen, mediante sistemas de drenaje sostenible, como complemento y apoyo a su extensa red de saneamiento convencional, con los siguientes fines basados en los principios de gobernanza dictados por la legislación europea y nacional y destinados, en primer lugar, a la gestión de la escorrentía superficial:

- Mitigar la sobrecarga del sistema actual por aporte de aguas de escorrentía de nuevos desarrollos urbanísticos.
- Gestionar el exceso de aguas de lluvia producidas en episodios de precipitación que sobrepasen los parámetros pluviométricos históricos para los cuales se diseñaron las infraestructuras de saneamiento actuales.

- Evitar las descargas de alivios sin tratamiento a los cauces naturales.
- Resolver problemas locales provocados por inundaciones, encharcamientos y destrucción de pavimentos por escorrentía no controlada.

En segundo lugar, pero no menos importante, estos sistemas de drenaje deben permitir, cuando sea posible, la infiltración natural de las aguas de lluvia en el terreno, devolviendo al suelo un régimen de humedad más acorde al ciclo natural del agua, favoreciendo la escorrentía subsuperficial, la recarga de acuíferos, el desarrollo de la vegetación sin aporte adicional de riego y contribuyendo a mitigar el efecto isla de calor.

El impulso a estas técnicas ya está expresado en el programa municipal Madrid + Natural, que promueve las soluciones basadas en la naturaleza para la adaptación al cambio climático y aboga por los múltiples beneficios que una infraestructura verde aporta a nuestras ciudades, dentro de la estrategia más ambiciosa marcada por el Plan A de Mejora de la calidad del Aire, elaborado por el Área de Medio Ambiente y Movilidad y aprobado por el Ayuntamiento de Madrid en septiembre de 2017.

Con análoga intención, la Estrategia de Infraestructura Verde y Biodiversidad elaborada por la misma Área municipal, incluye como líneas de acción: considerar la red hidrográfica histórica y su implicación en los sistemas de drenaje en origen de zonas verdes, así como su influencia en los hábitats potenciales de Madrid; incorporar sistemas de drenaje sostenible en los nuevos viales y los sometidos a reforma; renaturalizar plazas duras de la ciudad; disminuir el porcentaje de superficies pavimentadas; y aumentar el tamaño y estructura de los alcorques, todo ello con el propósito de gestionar mejor las aguas de escorrentía, disminuir el aporte de agua para riego, y mejorar las labores de mantenimiento y conservación de zonas verdes.

La revisión de la Ordenanza de Gestión y Uso Eficiente del Agua ofrecerá el necesario soporte jurídico que permita el desarrollo de todas estas iniciativas y estrategias planteadas. Como aspectos más concretos que incluirá el texto actualizado, se incrementará el porcen-



madrid.es

MADRID

taje mínimo de superficies permeables en zonas verdes, se determinarán valores mínimos de permeabilidad, y se definirán secciones tipo de superficies y firmes drenantes, que está previsto incluir en la Normalización de Elementos Constructivos del Ayuntamiento de Madrid.

### **‘GUÍA BÁSICA DE DISEÑO DE SISTEMAS DE GESTIÓN SOSTENIBLE DE AGUAS PLUVIALES EN ZONAS VERDES Y OTROS ESPACIOS PÚBLICOS’**

Mientras que el Ayuntamiento redacta y aprueba la modificación de la OGUA, proceso que conlleva necesariamente un largo periodo de tramitación administrativa, a la espera también de que el ministerio responsable de medio ambiente apruebe normativa, instrucciones técnicas o manuales de aplicación nacional sobre la materia, y tomando en consideración que los servicios técnicos municipales de Madrid ya están realizando proyectos y actuaciones de implantación de SUDS, sin que exista una metodología clara de diseño, se ha considerado oportuna la publicación de la ‘Guía Básica de Diseño de sistemas de Gestión Sostenible de Aguas Pluviales en Zonas Verdes y Otros Espacios Libres’, un documento sencillo y concreto, que permita a los técnicos involucrados desarrollar entornos urbanos, tanto públicos como privados, teniendo en cuenta una gestión sostenible de las aguas pluviales.

Se ha optado inicialmente por este ámbito de aplicación por la gran superficie de zonas verdes con que cuenta la ciu-

dad (unas 6.000 ha). La gran mayoría de estos espacios está dotado, en la actualidad, de redes de drenaje convencional, drenando el agua de lluvia desde las zonas vegetadas hacia los caminos y áreas pavimentadas, fenómeno que favorece el arrastre de materiales granulares y tierras y produce, en muchas ocasiones, cárcavas y charcos.



Cárcavas y drenaje deficiente en zonas verdes

La implantación de SUDS en estas zonas presenta, en las áreas urbanas consolidadas, menos problemas por posibles infiltraciones a edificaciones colindantes. Además, contribuirá a mejorar las labores de mantenimiento y conservación al disminuir la aparición de cárcavas y los aterramientos de bornales. Por último, se reducirán los requerimientos de agua para riego por incremento de la humedad del suelo. A lo largo del documento, se describen





Cárcavas y drenaje deficiente en zonas verdes

los principales dispositivos SUDS, se establece el proceso de diseño, y se presentan experiencias tanto españolas como internacionales que puedan servir de inspiración. Asimismo, se incorpora al final del documento un listado de manuales y guías de consulta para obtener información adicional.

Esta guía será de aplicación en espacios libres y zonas verdes, tanto públicos como privados, en el municipio de Madrid, y servirá de referencia para desarrollar otros espacios libres en la ciudad, fomentando así la gestión sostenible de las aguas pluviales en todo el entorno urbano.

En particular, en zonas urbanizadas o por urbanizar en las que actualmente las infraestructuras de gestión de agua de lluvia estén al límite de su capacidad, se emplearán los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible como una actuación prioritaria para aliviar el sistema convencional. La metodología de cálculo emplea datos específicos de pluviometría y características del suelo propios del municipio.

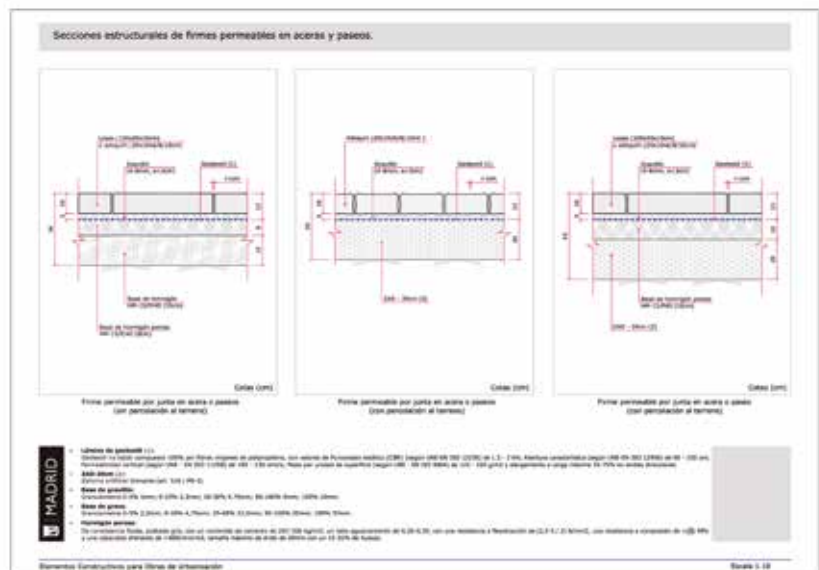
Aunque la filosofía es extrapolable al conjunto de la ciudad, los valores que determina la guía se presentan con el objetivo de hacer posible de manera sencilla el diseño de pequeñas actuaciones de gestión sostenible de las

aguas pluviales en zonas verdes y otros espacios libres. Sin embargo, para actuaciones de mayor envergadura o en otros ámbitos, especialmente si se prevé un riesgo de contaminación de las aguas de escorrentía de nivel medio o alto (por ejemplo, en zonas peatonales comerciales o viarios urbanos), será necesario contar con la conformidad del departamento competente del Ayuntamiento de Madrid sobre los criterios y parámetros empleados, y en su caso, con la autorización de la Confederación Hidrográfica del Tajo.

La guía se caracteriza por constituir un documento vivo, que acepta nuevas aportaciones al texto de partida y, por ello, anima a los usuarios a remitir su experiencia y comentarios a través de la web municipal. De este modo, se configura un documento útil que, a medida que los usuarios hagan de él una herramienta de trabajo, se irá actualizando para recoger así nuevas experiencias y lecciones aprendidas.

Para el ámbito de aplicación de la guía, se ha realizado una selección de los tipos de SUDS más apropiados para la ciudad de Madrid, cuyas principales características se presentan en una ficha que contiene la siguiente información: descripción, valoración cualitativa, diagrama con la composición típica de cada dispositivo, criterios de diseño, beneficios y limitaciones, requisitos de mantenimiento, y otras consideraciones de implantación.

La tipología de SUDS contemplada incluye los siguientes dispositivos: cubiertas vegetadas, aljibes, pavimentos permeables, alcorques estructurales, jardines de lluvia, pozos y zanjas de infiltración, celdas y cajas reticulares, drenes filtrantes, cunetas vegetadas, y elementos complementarios (válvulas de vórtice, separadores hidrodinámicos, y filtros compactos).



Secciones tipo de firmes permeables en la guía

**PAVIMENTOS PERMEABLES**

**DESCRIPCIÓN:**  
Los pavimentos permeables son una estructura porosa, que permite el paso tanto de peatones como de vehículos, así como la filtración de la escorrentía hacia una capa inferior de almacenamiento temporal (sub-base), compuesta por gravas, cédulas y/o cajas reticulares. Tras su almacenamiento, el agua se evapora por infiltración y/o a través de drenes. La capa superficial puede ser de pavimento continuo, como hormigón o asfalto poroso, o modular. A este último tipo pertenecen los adoquines porosos, los adoquines permeables por junta o el césped reforzado.

**VALORACIÓN:**

**ESQUEMA:**

**EJEMPLO:**

**CRITERIOS DE DISEÑO:**

- Se diseña para gestionar la escorrentía que se genera en su superficie y las áreas impermeables adyacentes (normalmente, la relación es 2A<sub>impermeable</sub> : 1A<sub>permeable</sub>).
- No aconseja dirigir al pavimento permeable la escorrentía procedente de superficies con alto potencial de arrastre, para evitar su colmatación. Si se hace, debe introducirse un elemento de pretratamiento (o es una pequeña zanja de infiltración).
- La permeabilidad del pavimento será  $\geq 2.500 \text{ mm/h}$ .
- Para asegurar por infiltración se escruta, habitualmente, una permeabilidad  $\geq 10^5 \text{ m/s}$  y, para valores inferiores, se instalará un dren que permita la evacuación controlada del agua almacenada en la sub-base.
- El lavado del agua almacenada en la sub-base debe producirse en un plazo inferior a las 48 h.
- Para aumentar el volumen de almacenamiento temporal cuando hay pendientes elevadas (del orden del 5-10 ‰), se pueden coexistir terrazas.
- Se aconseja instalar una lámina de geotextil entre el terreno natural y el material de la sub-base.

**BENEFICIOS:**

- Reducción del caudal punta y el volumen de la escorrentía de aguas pluviales.
- Mejora de la calidad del agua al retener sedimentos, aceites, grasas, metales pesados y algunos nutrientes.
- Reduce el área dedicada únicamente a la gestión de escorrentía, pues permite el tránsito tanto de peatones como de vehículos.
- Posible recarga de acuíferos y aprovechamiento del agua de lluvia.
- Gran variedad de diseños y flexibilidad para adaptarse a diferentes entornos urbanos.

**REQUISITOS DE MANTENIMIENTO:**

- Emplear barrederas o aspiradoras para limpiar el pavimento, según sea requerido (la frecuencia suele variar condicionada por razones estéticas).
- Mantener la hierba de las áreas colindantes recortada.
- Inspeccionar en busca de charcos de larga duración y realizar ensayos de permeabilidad biénicamente.
- Al cabo de los años, puede requerir una aspiración en profundidad para recuperar la permeabilidad inicial.

**LIMITACIONES:**

- No se recomienda en lugares con tráfico de vehículos pesados, lugares con altas cargas de sedimentos ni zonas donde existan muchos árboles.
- Se reduce su permeabilidad con la exposición a sedimentos, especialmente los finos, y materia orgánica, siendo la causa común de fallo su colmatación.
- Actualmente requiere personal especializado para su correcta instalación.
- No está permitido dirigir la escorrentía de áreas vegetadas hacia el pavimento permeable.

**CONSIDERACIONES DE IMPLANTACIÓN:**

Gran resultado de espacio:	No
Apto en suelos impermeables:	5*
Apto cuando la separación entre la base del SUDS y el nivel freático < 3 m:	5*
Trascurrido suficiente cuando asentamiento haya sido suficiente sobre la cuenta:	SI
Costes de construcción:	20 - 35 €/m <sup>2</sup>
Costes de mantenimiento:	1 €/m <sup>2</sup> /año - 0,05-0,1 €/m <sup>2</sup> /año

\*) Cuando está previsto el drenaje en la base.

Ficha de una de las tipologías SUDS de la guía

de escorrentía en origen a los nuevos desarrollos urbanísticos y a los proyectos de reurbanización o regeneración de espacios libres ya existentes en la ciudad, entendiendo que este modo de tratar las aguas pluviales es compatible y complementario del sistema convencional de saneamiento, y que puede contribuir a optimizar su gestión.

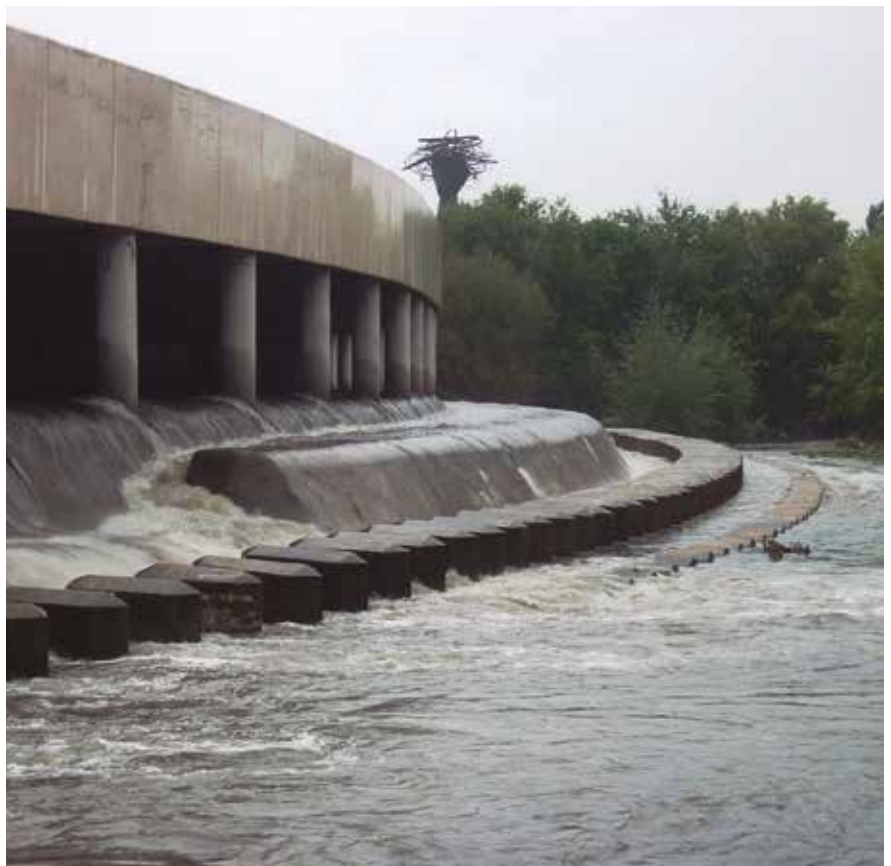
Para facilitar el cumplimiento de estas nuevas normas e impulsar la implantación de SUDS, mediante un correcto diseño de los espacios libres de la ciudad, se elaborarán las instrucciones técnicas y manuales que se estimen necesarios, siendo una muestra de esta voluntad municipal la elaboración de la guía de diseño que se ha presentado en este texto. 📄

La guía se completa con una serie de anexos que incluyen información práctica para los usuarios: procedimiento de ensayos de permeabilidad, resultados de ensayos de permeabilidad realizados en diversas obras de Madrid, secciones tipo de firmes permeables y zanjas drenantes, y hoja de cálculo para la aplicación de la metodología de cálculo de SUDS descrita en la guía.

## CONCLUSIONES

La Ley de Bases de Régimen Local atribuye la competencia en la gestión de las aguas de escorrentía a los municipios, que deberán aprobar la normativa que regule y ofrezca el necesario soporte jurídico a las distintas políticas, estrategias e iniciativas desarrolladas con tal fin.

Con el propósito de dar cumplimiento a la legislación vigente y a las directrices marcadas por los principios de gobernanza en esta materia, y dentro del marco de una estrategia local de adaptación al cambio climático, el Ayuntamiento de Madrid ha abordado la revisión de su Ordenanza de Gestión y Uso Eficiente del Agua para incluir requisitos de implantación de técnicas de gestión



Aliviadero en el colector general de la margen izquierda del río Manzanares

IZASKUN

**Martí**

XAVIER

**Varela**

MARÍA JOSÉ

**Chesa**

JORDI

**Rodríguez**

JANA

**Miró**

ROBERTO

**Soto**

GABINO

**Carballo**

# La Comisión de SUDS

del Ayuntamiento de Barcelona  
como ente integrador de las  
diferentes ópticas

## RESUMEN

El Ayuntamiento de Barcelona está introduciendo sistemas de drenaje sostenible en su espacio público. Hasta fechas recientes, en ausencia de una estrategia de aprovechamiento de recursos hídricos actualizada, el diseño y aplicación de estas técnicas dependía en gran medida del interés del responsable del proyecto, pero ni su cálculo y construcción estaban sistematizados ni su implementación contaba con un plan de mantenimiento para su ciclo de vida, lo que planteaba un problema de gestión a largo plazo.

Esta confluencia de factores ha motivado la formación de una Comisión de SUDS dentro del Área de Ecología Urbana para difundir conocimiento y diseminar la aplicación de estas técnicas, con el objetivo de impulsar las políticas medioambientales que el propio Ayuntamiento desarrolla, en particular la resiliencia de su infraestructura verde y de gestión del agua.

## PALABRAS CLAVE

Drenaje urbano sostenible, drenaje sensible al agua, gestión de aguas de lluvia, aguas de escorrentía, soluciones basadas en la naturaleza, prevención de inundaciones por insuficiencia de drenaje urbano, protección del medio hídrico ante la contaminación

## ABSTRACT

*Barcelona City Council are introducing sustainable drainage systems in their public spaces. Until recently and in view of the lack of any updated strategy for the harnessing of water resources, the design and application of these techniques largely depended on the interests of those responsible for the project, but their calculation and construction was not standardised and no maintenance plan was ever established for their life cycle, which then led to management problems in the long term.*

*This combination of factors has led to the establishment of a SUDS Commission within the Urban Ecology Division, to divulge knowledge and advance the application of these techniques with the objective of promoting the environmental policies developed by the Council, and particularly with respect to the resilience of its green infrastructure and water management.*

## KEYWORDS

*Sustainable urban drainage; water sensitive drainage; stormwater management; run-off; nature-based solutions; prevention of floods due to insufficient drainage; protection of water bodies from pollution*

# 1

## Introducción

Desde el año 2005, el ayuntamiento de Barcelona viene aplicando diferentes Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible, conocidos como SUDS, en su trama urbana, tanto en calles como parques y jardines de nueva urbanización como en proyectos de mejora.

Los SUDS son sistemas o dispositivos diseñados para captar el agua de lluvia generada en el espacio público, sea para su infiltración en el terreno o para su almacenamiento y posterior utilización. Para un correcto funcionamiento de estos sistemas, es preferible considerar de manera integral la urbanización del espacio público, de forma que las superficies viertan hacia los dispositivos SUDS previstos para gestionar la escorrentía.

Hasta fechas recientes, el diseño y aplicación de estas técnicas y dispositivos en Barcelona dependía, en gran medida, del interés del responsable del proyecto y su construcción no estaba ni sistematizada ni contaba con un plan de mantenimiento, lo que planteaba un problema emergente de gestión.

En paralelo con estas aplicaciones esporádicas y el conocimiento generado por las mismas, las estructuras técnicas municipales vislumbraron el potencial que los SUDS tienen para ayudar a impulsar las políticas medioambientales que el propio Ayuntamiento desarrolla, en particular la resiliencia de su infraestructura verde y de gestión del agua.

Esta confluencia de factores ha motivado la formación de una Comisión de SUDS dentro del Área de Ecología Urbana.

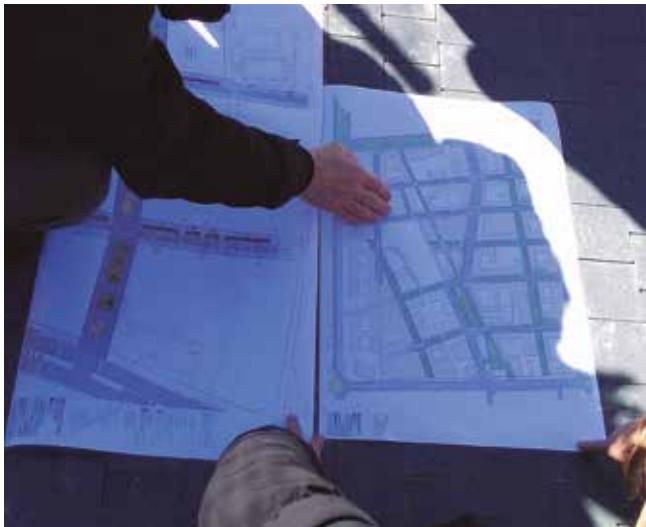
# 2

## Cómo funciona la Comisión de SUDS

Las entidades representadas en la Comisión inicial son el Institut Municipal d'Urbanisme, el Cicle de l'Aigua y la Direcció d'Espais Verds i Biodiversitat, lo que vendría a representar la gestión urbanística, la gestión del agua y la gestión de los espacios verdes. A esta composición inicial se han ido añadiendo representaciones y colaboraciones de otros actores municipales según las necesidades y oportunidades del momento. La calidad pluridisciplinar de la comisión responde al objetivo de enfocar los SUDS bajo diferentes ópticas, al ser estos sistemas holísticos y transversa-



Urbanización del barrio de Bon Pastor



Los SUDS precisan de la colaboración transversal de diversos profesionales para su diseño y gestión

les en su concepto. Creemos que no tendría sentido hacerlo de otra manera.

Las funciones de la comisión son: promover estudios relacionados con la aplicación, gestión y seguimiento de los SUDS en la ciudad; sistematizar la gestión de los datos y proyectos relacionados con las técnicas SUDS; impulsar la formación en los servicios técnicos municipales; promover la información a la ciudadanía (con señalización, información *online*...); y hacer llegar los beneficios a todos los departamentos del Ayuntamiento (Distritos, Urbanismo, otros departamentos...) para que tengan en cuenta los SUDS en proyectos y normativas.

# 3

## Principales obras con SUDS en Barcelona

La ciudad de Barcelona viene investigando la aplicación práctica de SUDS por medio de soluciones que gestionen las aguas pluviales de forma holística e integrada en el diseño urbano, y donde las áreas vegetadas pasen a tener un papel protagonista. Estas aplicaciones prácticas se pueden dividir en dos ámbitos de actuación diferenciados: proyectos de urbanización general de la ciudad y proyectos de mejora de espacios verdes.

Entre los primeros se encuentran el parque de Joan Reventós, las urbanizaciones de Can Cortada, Bon Pastor, Roquetes, Dolors Piera, Cristobal de Moura, Provençals, Mare de Deu de l'Orda y la Marina del Prat Vermell. Entre los segundos se pueden incluir los Jardines de los Derechos Humanos, los de Elvira Farreras o los de Can Mantega, entre otras muchas actuaciones puntuales y globales en los espacios verdes de la ciudad.

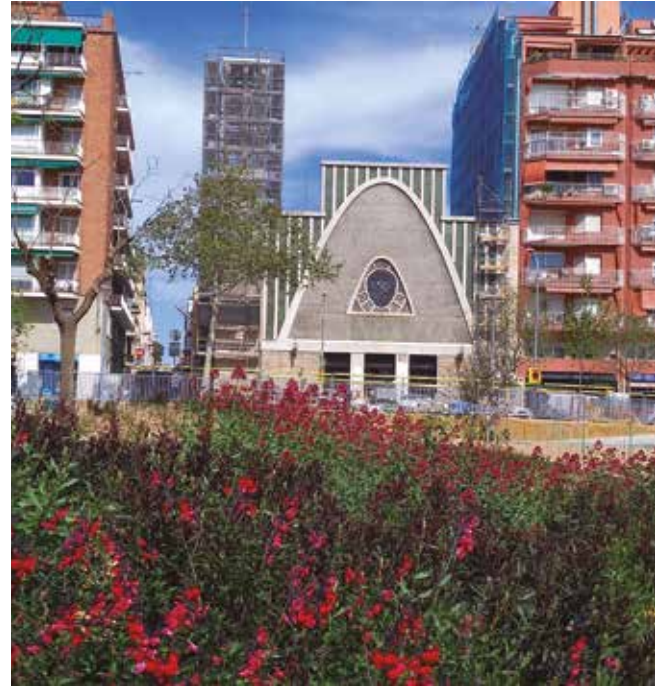
En los casos concretos de las remodelaciones del barrio de Bon Pastor y la urbanización de la calle Nou Barris (Roquetes), se pueden considerar proyectos que de alguna forma condensan la experiencia acumulada en obras anteriores y que puede ser extrapolable a otros ámbitos y ciudades.

La importancia de estas dos obras es servir de modelo de referencia para ejemplificar sistemas de drenaje integrados en la cotidianidad de los usos urbanos, donde las aguas pluviales (blancas) se separan de las aguas negras, con un escenario inicial donde las superficies permeables en los proyectos de urbanización garantizan un correcto drenaje urbano sostenible. Además, aportan una indispensable capacidad de adaptación a episodios de lluvia torrencial, de modo que la escorrentía generada pueda encontrar su camino mediante sistemas pensados para cerrar el ciclo natural del agua adecuadamente, al tiempo que cumplen un parámetro de partida de un período de retorno en el que no se produce vertido al sistema unitario de 10 años (T10).

En el caso del barrio de Bon Pastor, este sufre una transformación urbanística en la que se hace tabula rasa de las preexistencias, con una gran liberación de suelo como espacio público; esto permite aplicar un amplio abanico de sistemas: desde cubiertas vegetadas tipo aljibe (en proceso de construcción) hasta los pozos de infiltración, pasando por el empleo de pavimentos permeables sobre suelos estructurales en las alineaciones del arbolado, áreas de biorretención en la limaolla de la calle y que gracias a su forma cóncava permite retener la escorrentía y el consiguiente tratamiento de contaminantes procedentes de calzada a través de la detención y biodegradación de metales pesados e hidrocarburos respectivamente, áreas inundables a modo de estanques de detención e infiltración a los que desaguan zonas peatonales y los aliviaderos de las cubiertas de edificios, etc.



Urbanización de Can Cortada



Jardines de Can Mantega. Construcción de zanjas de infiltración y aspecto final

En el caso de la calle Nou Barris de Roquetes, se han puesto a prueba varias áreas de biorretención con diferentes dimensiones que recogen aguas de escorrentía de calzada y de acera, en una pendiente elevada (superior al 11 %) y cuyo volumen de gestión está calculado para un período de retorno de 10 años. La singularidad de esta intervención es haber resuelto en una de las situaciones más complejas, como es el de una calle relativamente estrecha y con una gran pendiente, la gestión alternativa de la escorrentía a largo plazo y con un mantenimiento en principio reducido, que no debería presentar los problemas de la colmatación habituales, al ser el sistema registrable y haber relegado los geosintéticos a un papel secundario.

Es posible afirmar que estos proyectos consolidan un modelo de urbanización extrapolable a actuaciones futuras en Barcelona y otras ciudades.

## 4 Líneas de trabajo de la Comisión

*\* Estudio de recopilación y análisis de las experiencias con sistemas y dispositivos de drenaje sostenible en la ciudad de Barcelona.*

El objeto principal del estudio fue la recopilación de las actuaciones y experiencias con SUDS ejecutadas en la ciudad para su análisis y tipificación sistemática, con la intención de desarrollar criterios y líneas de acción transversales a todos los operadores municipales, tanto en la vertiente de diseño y ejecución como de conservación y mantenimiento. Entre los temas contemplados se encuentran:

- Estudiar la problemática de la sustitución de los ecosistemas naturales por un tipo de uso del suelo que tiende a impermeabilizar y alterar procesos funcionales y estructura de los ecosistemas.
- Recopilar las características y prestaciones generales de los SUDS, con sus beneficios adicionales como infraestructura verde.
- Evaluar la necesidad de elaborar una estrategia de drenaje urbano sostenible para Barcelona, que debería tener importantes efectos tanto sobre el diseño urbano y de vías públicas como en el de los espacios verdes, y plantear los objetivos estratégicos, sociales, ambientales y técnicos que podrían considerarse.
- Tipificar los principales tipos de SUDS estructurales, que pueden organizarse en nivel creciente de servicio de tratamiento así como nivel creciente de reducción de volumen.
- Repasar brevemente la historia de la implementación del SUDS en diferentes países.
- Proponer actuaciones con SUDS que podrían llevarse a cabo en Barcelona, integrando la gestión del agua de escorrentía en el modelo urbano de la ciudad.
- Profundizar en un aspecto resaltado a lo largo de todo el documento: la necesidad de establecer un Plan de Mantenimiento con una visión de ciudad, considerando la posibilidad de integración y complementación de acciones que en la actualidad realizan de manera independiente brigadas de limpieza viaria, de mantenimiento de la red de alcantarillado y de mantenimiento de los espacios verdes. Se listan los aspectos que debería contem-

Projectes amb SUDS a Barcelona	Pous, rases i dipòsits de detenció (D-DIP)	Aljubs (R-ALJ)	Rases drenants (F-RAS)	Franges vegetades (F-FRA)	Cobertes verdes (F-COB)	Paviments permeables (I-PAV)	Pous, rases i dipòsits d'infiltració (I-DIP)	Escocells d'infiltració (I-EST)	Parterres inundables (I-PAR)	Cunetes vegetades (T-CUN)	Estanys i aiguamolls (T-EST)	Franges de biorretenció (T-BIO)
Jardins Ernest Lluch (2007)							●					
Torre Baró - Plaça Eucaliptus (2008)	●		●			●		●				
Torrent de Les Monges (2008)			●			●	●		●	●		
Can Caralleu (2008)						●						
Jardí dels Drets Humans (2008)			●			●	●					
Martí i Franqués (2010)			●			●						
Parc del Clot (2010)			●				●					
Casa dels Xuklis (2010)			●				●					
Jardins del Gran Capitán (2011)			●				●					
Ampliació del Parc del Putget (2011)			●			●	●					
La Marina (2014)							●		●			
Can Cortada (2015)			●			●	●	●	●	●		
Jardins de Can Mantega (2016)							●					
Bon Pastor (2016)						●	●	●	●			●
Plaça de les Dones de Nou Barris (2017)						●	●	●	●			●
Plaça de les Glòries (en construcció)							●		●			●

Tabla del estudio "Estudi de recopilació i anàlisi de les experiències amb sistemes i dispositius de drenatge sostenible a la ciutat de Barcelona i proposta de línies d'acció" del Ayuntamiento de Barcelona, mayo 2017

plar el Plan, así como las principales operaciones de mantenimiento necesarias para cada tipo de SUDS, distinguiendo entre operaciones de mantenimiento periódico, ocasional o correctivo, y acciones de inspección.

- También se evaluó una herramienta de análisis multicriterio que compara el sistema de drenaje con SUDS de una actuación ejecutada en Barcelona con el equivalente convencional para contemplar escenarios alternativos.

Mediante este trabajo se ha podido apreciar como la ciudad de Barcelona ha conseguido incorporar la filosofía de gestión descentralizada del agua de lluvia mediante soluciones basadas en la naturaleza en diversos proyectos de urbanización y remodelación de espacios verdes, tal como se puede apreciar en la tabla adjunta, que resume las principales experiencias de drenaje sostenible ejecutadas, con indicación del tipo de dispositivo SUDS empleado en cada actuación:

*\* Los SUDS en el PLARHAB*

La captación y tratamiento de las aguas de lluvia mediante SUDS gestiona en origen la escorrentía urbana y aporta los siguientes beneficios directos en la gestión del ciclo del agua en la ciudad:

1. Reduce el volumen de agua que entra en la red de alcantarillado y lamina el caudal punta generado al tiempo que reduce el volumen de los vertidos al medio receptor durante los episodios de lluvia, contribuyendo de este modo a la protección de las masas de agua del entorno de la ciudad.
2. El agua de escorrentía urbana contiene una elevada concentración de contaminantes, y algunos tipos de SUDS, como los parterres inundables o las franjas de biorretención, están concebidos para realizar un tratamiento en origen de la misma, reteniendo dichos contaminantes en las primeras

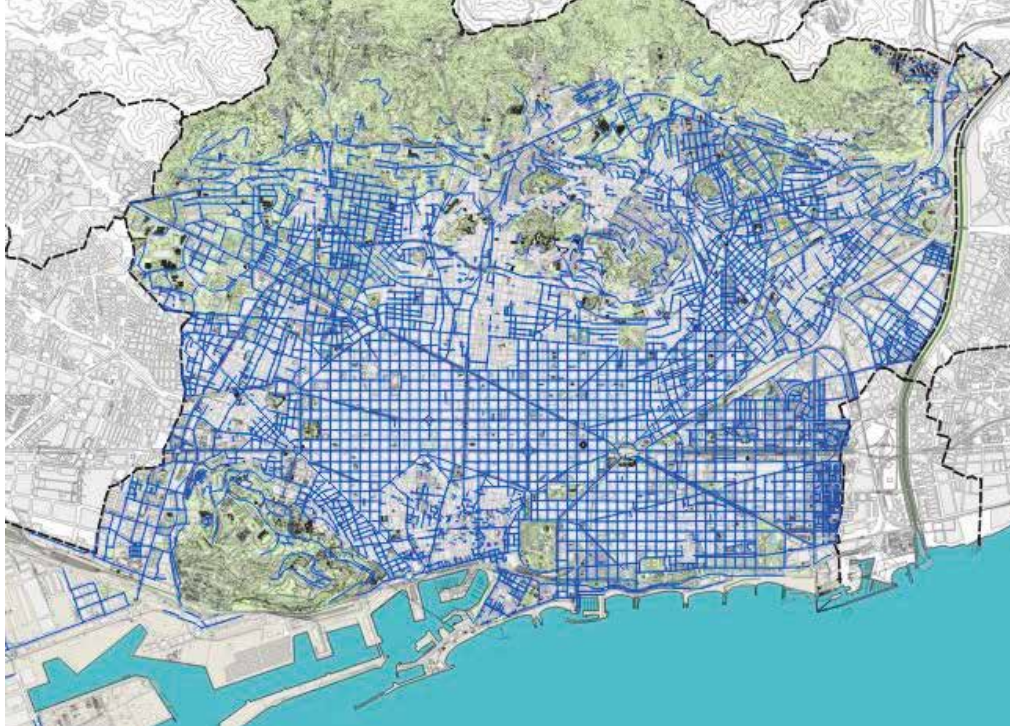
capas del suelo, minimizando así el riesgo de contaminación del acuífero.

3. Se obtiene una naturalización del ciclo del agua en las zonas urbanas lo que recupera los procesos naturales del territorio y palia los efectos negativos en el ciclo del agua que resultan de la impermeabilización masiva de las ciudades.

4. Además de los beneficios obtenidos en la gestión del ciclo del agua, la implantación de SUDS en el espacio público produce otros beneficios. Las superficies vegetadas reducen del efecto "isla de calor" por medio de la evapotranspiración, favoreciendo el ahorro energético, la reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub>, la mejora de la calidad del aire y creación de puestos de trabajo sostenible –tanto en las fases de implantación como de mantenimiento–; en definitiva, una mejora de la calidad de vida en las ciudades.

Con el objetivo de conseguir estos beneficios en la ciudad de Barcelona, el Plan Técnico para el Aprovechamiento de Recursos Hídricos Alternativos de Barcelona (PLARHAB 2018) incluye en una de sus líneas de acción la implementación de estos dispositivos a escala ciudad. El ámbito de aplicación de los SUDS incluye:

- a) Los parques y jardines urbanos de la ciudad (exceptuando las zonas forestales y Montjuïc, por su singularidad), lo que supone un área de 1.295 ha.
- b) Las calles con un ancho mayor de 9 metros y una pendiente inferior al 6 %, rango de aplicación que supone una longitud de 696 km de viales. Estos criterios descartan a priori calles más estrechas por motivos de movilidad y calles donde la pendiente puede suponer una construcción de sistemas SUDS más costosa y de menor rendimiento, debido a que las pendientes longitudinales mayores dificultan el flujo en superficie de la escorrentía urbana hacia los SUDS, con las pendientes transversales requeridas en aceras y viales.



Ámbito de aplicación del estudio de implantación de SUDS en Barcelona. Ayuntamiento de Barcelona

El criterio de partida para el diseño de los SUDS es que estas sean capaces de gestionar el volumen de escorrentía generado por las precipitaciones de hasta 15 mm, dado que en el 80 % de los episodios de lluvia que suceden en un año tipo en la ciudad de Barcelona, la precipitación total no supera dicho valor. Intentar gestionar precipitaciones mayores requiere la construcción de sistemas de mayores dimensiones, con costes de inversión y mantenimiento más elevados.

En el ámbito de aplicación definido, se han considerado diferentes tipos de SUDS, en función de la escorrentía urbana que se quiera gestionar. Estas son:

- Captación de la escorrentía de aceras, mediante parterres inundables. En este caso se estima que los SUDS son capaces de retener un volumen de 2,6 hm<sup>3</sup>/año y 19 T/año de contaminantes.
- Captación de la escorrentía de aceras y calzada, mediante franjas de biorretención. En este caso se estima que los SUDS son capaces de retener un volumen de 5,7 hm<sup>3</sup>/año y 794 T/año de contaminantes.
- Captación de la escorrentía generada en parques y jardines, mediante parterres inundables. En este caso se estima que los SUDS son capaces de retener un volumen de 3 hm<sup>3</sup>/año y 21 T/año de contaminantes.

*\* Estudio del Mantenimiento de los SUDS*

Un aspecto fundamental de los SUDS es su conservación y mantenimiento, aspectos que a menudo se soslayan con la gestión del ciclo de vida de infraestructuras. Con el objeto de prever las necesidades de conservación de los SUDS, la Direcció d'Espais Verds i Biodiversitat del Ayuntamiento de Barcelona promueve la redacción de un manual de mantenimiento de



Urbanización de la Marina del Prat Vermell





Jardines de Elvira Ferreras, la solución de diseño integra forma y sistemas SUDS



estos sistemas y a tal efecto está realizando un estudio con el objeto de asegurar la futura operatividad de los dispositivos de drenaje sostenible de la ciudad. Esta ambición precisa que los responsables de mantenimiento dispongan de un manual accesible y de fácil comprensión.

Por tanto, el estudio pretende explicar de forma concisa cómo preparar un plan de mantenimiento que de manera general describa el concepto de conservación en estos sistemas, indique los tipos de mantenimiento con las tareas más habituales y su frecuencia, y relacione estas tareas con los tipos principales de SUDS.

La idea de desarrollar un manual de mantenimiento es la continuación natural al “Estudio de recopilación y análisis de las experiencias con SUDS en la ciudad de Barcelona” redactado con anterioridad para recopilar el conocimiento y estado de la cuestión en la ciudad, y que ya contemplaba una tipología de estos sistemas con una breve indicación de los conceptos de mantenimiento. Una vez identificados, lo que se pretende es saber cómo realizar las labores que permitan completar y extender el ciclo de vida útil de estos sistemas. Simultáneamente, este manual servirá de guía y precedente para la elaboración de planes de mantenimiento de los SUDS que se implanten en los espacios verdes de Barcelona.

El manual será útil para considerar la conservación de cada técnica de drenaje sostenible desde las primeras etapas de diseño, de manera que cada sistema implantado cuente con su plan de mantenimiento específico.

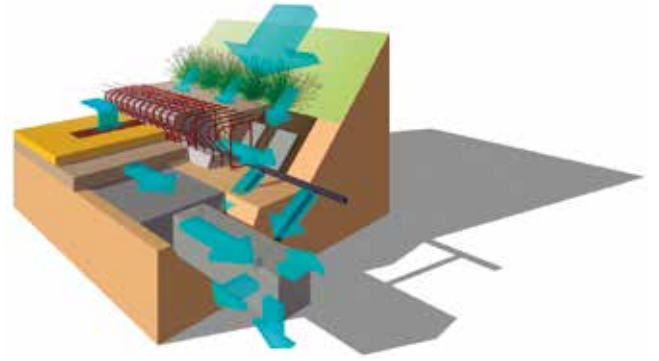
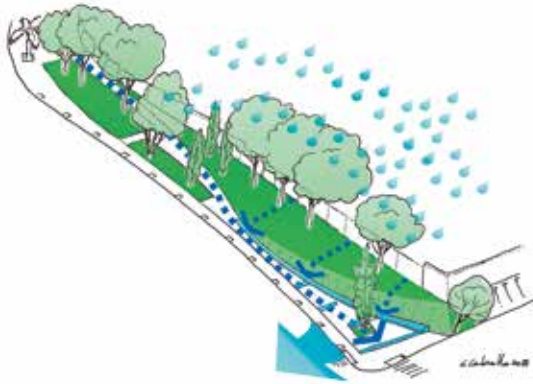
El manual se estructura en cinco capítulos: el primer capítulo es una introducción al tema, mientras que el segundo capítulo ex-

plica el concepto de mantenimiento de los SUDS, resaltando su importancia y las consecuencias de no llevarse a cabo adecuadamente en dos subsecciones: en la primera se indican los tipos de trabajos de mantenimiento según la frecuencia de estos, y en la segunda se enumeran y describen las tareas de mantenimiento más habituales, clasificadas según sus frecuencias de realización. Para cada tarea se explica el objetivo, cómo llevarla a cabo y los componentes de los SUDS afectados, contemplando que algunas de ellas se realizan de manera diferenciada respecto a los espacios verdes o las estructuras de drenaje convencionales.

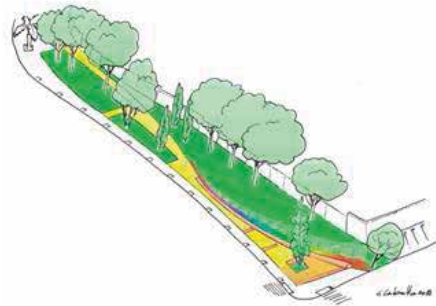
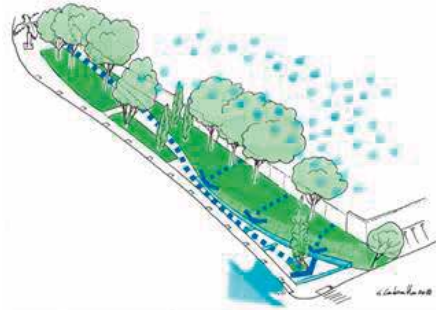
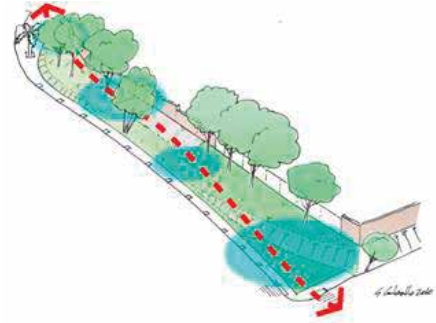
El tercer capítulo presenta la aplicación del segundo a diferentes tipos de de SUDS, y para cada uno se incluye definición, fotografía, esquema o sección de funcionamiento y una tabla con las tareas que le afecten y la frecuencia de realización estimada.

El cuarto capítulo desarrolla los apartados que debe abarcar un plan de mantenimiento para SUDS (cómo pasar de la teoría a la práctica). Para cada apartado se describe el contenido que debe tener, y posibles fuentes donde encontrar más información. Así, cada plan de mantenimiento deberá inventariar los dispositivos SUDS; definir las necesidades de mantenimiento de cada uno; identificar cuáles son las entidades y el personal responsable del mantenimiento del sistema, así como aquellos a quienes contactar en caso de detectar fallos; incluir un plan de acción ante un evento de vertido accidental de contaminantes y recomendaciones de seguridad y salud y para la gestión de los residuos; e incorporar hojas de registro y de inspección de las actividades de mantenimiento, que faciliten la elaboración de un informe anual.

Finalmente, el último capítulo indica las referencias principales empleadas para la elaboración del manual.



Jardines de Gran Capitán, Diagramas de concepto y detalle de gavión drenante



## 5 Futuro de los SUDS en Barcelona

Para concluir, creemos que la manera de enfocar el devenir de estos sistemas pasa forzosamente por divulgar el conocimiento de sus beneficios a nivel político, técnico-administrativo y ciudadano, entendiendo que su éxito pasa en gran medida por la buena aceptación de sus usuarios y consecuentemente del poder ejecutivo.

Evidentemente será necesario promover la I+D de estas técnicas, realizar pruebas de implementación y evolución, diseñar sistemas de gestión, e impulsar su uso paralelo a los sistemas convencionales de gestión del agua en superficie. La continuidad de estos sistemas dependerá en gran medida de unos planes de mantenimiento ajustados a las necesidades y tipologías concretas de SUDS.

Todas estas medidas deberían servir para incorporar los SUDS de manera definitiva y sistemática en la planificación de la ciudad, sus infraestructuras y la gestión de las mismas. 📍



## LAURA de la Fuente García

Ingeniera Civil. Máster en Ingeniería Ambiental  
Responsable de Planificación y Proyectos del  
Ciclo Integral del Agua. Ayuntamiento de Valencia

# Por una Valencia Más azul, más verde

### RESUMEN

El artículo describe la experiencia vivida hasta hoy con la utilización de los sistemas de drenaje sostenible en la ciudad de Valencia. Se ponen de manifiesto los hitos alcanzados valorándose las experiencias adquiridas, analizándose la normativa existente a mejorar y poniendo el énfasis en los nuevos hitos a alcanzar, para seguir andando en la utilización de los SUDS con la seguridad de estar haciendo las cosas correctamente reduciendo la escorrentía en su origen.

### PALABRAS CLAVE

Valencia, Parque Central, Ordenanza Saneamiento, Comité Técnico multidisciplinar

### ABSTRACT

*This article describes the experience gained to date in the use of sustainable drainage systems in the city of Valencia. It describes the milestones reached and the knowledge obtained and considers improvements to existing legislation and underlines the new benchmarks to be met, in order to continue employing SUDS in the knowledge that this is the best means of reducing surface run-off at source.*

### KEYWORDS

*Valencia, Parque Central, Drainage Regulations, Multi-disciplinary Technical Committee*



Fig. 1\_ Pradera en el Parque Central donde se encuentra el cuenco de infiltración con un depósito de 323 m<sup>3</sup>

# 1

## Introducción

La ciudad de Valencia está empezando a despertar de un letargo a la tradición en materia de drenaje urbano conducido con el paso de los años. Aunque podemos empezar a hablar de SUDS sin ruborizarnos, no cabe duda de que todavía debemos hacerlo con prudencia y mucha paciencia. Sin embargo, el solo hecho de que se pueda exponer y concienciar a los proyectistas para su utilización en grandes y pequeños proyectos empieza a ser alentador, aunque no suficiente.

La primera gran experiencia para los sistemas de drenaje sostenible en Valencia vino de la mano del proyecto emblemático diseñado por la afamada paisajista Kathryn Gustafson, Parque Central de Valencia, como parte del faraónico proyecto de soterramiento de las vías del ferrocarril de acceso hasta el centro neurálgico de la ciudad. Este hito arrancó en el año 2011 y tras sucesivas modificaciones del proyecto hoy es una realidad ejecutada en su primera fase, la cual se puso en servicio a la ciudadanía a finales del año pasado.

No obstante, el primer proyecto que se materializó en la ciudad se produjo cuando, en el año 2013, fue ejecutado el tramo VIa del cauce del viejo río Turia con drenaje sostenible, porque, aun-

que pueda resultar paradójico, hasta ese momento los jardines se drenaban y el cauce del río también. Esto fue el punto inicial para la utilización de estos sistemas de drenaje en los parques y las zonas ajardinadas que se están llevando a cabo desde el Servicio de Jardinería del Ayuntamiento de Valencia, tanto de nueva ejecución como reformas y mejoras. Desde ese momento no cabe la discusión y ningún jardín se diseña con drenaje convencional; es la propia zona verde la que gestiona su propia escorrentía.

Los parques y los jardines gestionan su propia escorrentía mediante la instalación de diferentes estructuras de drenaje sostenible, las cuales, en el punto más bajo del ámbito a urbanizar, se conectan a la red de saneamiento municipal a través de la instalación de una arqueta de control previa, garantizándose el drenaje en caso de aguaceros puntuales elevados que superen la capacidad de gestión de los SUDS instalados.

# 2

## Ámbito normativo en la ciudad de Valencia

Si bien se habían empezado a utilizar estos sistemas de drenaje sin un apoyo normativo claro en España, el primer hito normativo lo marca la inclusión del uso de estas infraestructuras con la publicación por parte de la Con-

sellería de Vivienda, Obras Públicas y Vertebración del Territorio con Decreto 201/2015, de 29 de octubre, del Consell, por el que se aprueba el Plan de Acción Territorial sobre Prevención del Riesgo de Inundación en la Comunidad Valenciana (Patricova), cuando en el Anexo 1 de la normativa 'Condiciones de adecuación de las edificaciones y la urbanización' indica que "se fomentará el uso de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible en todos los municipios de la Comunitat Valenciana". Aunque en su momento fue un buen guiño al uso de estas infraestructuras, a fecha de hoy parece ya insuficiente.

En paralelo la Confederación Hidrográfica del Júcar en el Real Decreto 1/2016, de 8 de enero donde se aprueba El Plan Hidrológico de Cuenca del Júcar del segundo ciclo de planificación hidrológica (2015-2021), invita también a su uso para la reducción de la escorrentía superficial y con ello a su incorporación a los sistemas de drenaje convencional, con objeto de conseguir la reducción de los desbordamientos de los sistemas unitarios (DSU) a los cauces receptores.

El Ayuntamiento de Valencia tampoco se quedó atrás y tras casi dos años de trabajo para la redacción de la modificación de la Ordenanza de Saneamiento, el pleno municipal aprobó el documento el 28 de diciembre de 2015 siendo publicada en el B.O.P. el 2 de febrero de 2016.

En el Anexo XI 'Normativa para obras de saneamiento y drenaje urbano de la ciudad de Valencia. Año 2015' en el apartado '2.5. Uso de sistemas de drenaje sostenible' se indica que "los nuevos proyectos de urbanización incorporarán, en la medida de lo posible, medidas para fomentar la infiltración en las superficies de aparcamientos, viales, centro de glorietas, medianas ajardinadas, alcorques y jardines. Se propone en ese sentido el uso de soluciones como los pavimentos permeables o el rebaje de los bordillos de las



Fig. 2\_ Esquema de montaje de las celdas de polipropileno del depósito de infiltración en el Parque Central

*aceras en aquellas situaciones en que se pueda redirigir la escorrentía superficial hacia zonas donde se facilite su infiltración (alcorques, zonas verdes, etc), sin perjuicio del uso de todas aquellas soluciones que se engloban en este conjunto de técnicas”.*

La normativa municipal insta a que se utilicen este tipo de soluciones en ámbitos de nueva urbanización y en zonas de poca densidad de edificación como por ejemplo las pedanías de la ciudad. Pero, trascurridos tres años desde la aprobación de esta normativa, instar a su utilización tampoco parece suficiente y se debería proponer la modificación de la misma para poder alcanzar la obligatoriedad del uso, sobre todo con el horizonte normativo estatal que se aproxima.

Para el uso de estas infraestructuras de drenaje en superficies de aparcamiento y viales es, además, necesario dar un paso adicional en este camino en materia normativa y se hace necesaria la incorporación de nuevas secciones de firmes en el “Catálogo de firmes y pavimentos de la ciudad de Valencia del año 2007”, con secciones mediante pavimentos permeables, celdas de laminación, gravas drenantes, etc.

La aprobación de este nuevo catálogo fomentará la inclusión de estas infraestructuras en los nuevos programas urbanísticos que, a tenor del marco normativo nacional que se avecina en materia de gestión de aguas de escorrentía y, por ende, de control de los desbordamientos de los sistemas unitarios (DSU) a los medios receptores del saneamiento urbano, se van a convertir en toda una realidad y una obligación inexcusable.

## 3 Experiencias de aplicación de SUDS en la ciudad de Valencia

### 3.1. Hitos ejecutados

El Parque Central nació con la idea de ser el primer proyecto de urbanización en conseguir la certificación Breeam y, en particular, en la gestión del agua. En esta primera fase se han ejecutado cinco cuencos de acumulación con capacidad variable desde 323 m<sup>3</sup> a 54 m<sup>3</sup> mediante la instalación de depósitos de celdas de polipropileno conectados mediante sondeos directamente al propio nivel freático (ver figuras 2 y 3). Los depósitos son alimentados a través de 5.300 m

de zanjas filtrantes y 28 sondeos de infiltración adicionales que recargan el acuífero directamente.

Aunque con el paso de los años desde su aprobación hasta la finalización, el proyecto se haya podido quedar algo obsoleto en materia de drenaje sostenible, no cabe duda de que la apuesta, aún a fecha de hoy, es muy válida y tal vez algo atrevida por el propio desconocimiento del funcionamiento de estos sistemas con la pluviometría de la ciudad de Valencia.

En la remodelación del tramo VIa del Jardín del Turia, la obra de drenaje consistió en la eliminación de los imbornales que disponía el tramo y que estaban conectados directamente al colector unitario Colector Norte Cauce. Se ejecutaron sendas cunetas drenantes a ambos lados del cajón, formada por dos zanjas drenantes con paquete de gravas y una sección de 50x50 cm<sup>2</sup> envueltas en geotextil y conectadas a modo de aliviadero y con arqueta de control al propio colector (figura 4). Hasta la fecha en los puntos de control no se ha detectado el paso de agua consiguiéndose la infiltración de esta al terreno y, por ende, el correcto funcionamiento del sistema.

El proceso de aprobación de este proyecto en los servicios municipales supuso muchas reticencias por parte de los técnicos, que dudaron de viabilidad técnica. No obstante, el paso del tiempo ha demostrado que no solo es la opción correcta, sino que desde ese mismo momento se instó desde los servicios municipales al uso del drenaje sostenible en todos los proyectos de ajardinamiento.

A partir de ahí, se han ejecutado numerosos parques nuevos y de remodelación con diferentes tipos de infraestructuras de drenaje sostenible. Cabe destacar el jardín de la Ermita de San Jerónimo (c/ Arquitecto Rodríguez entre las calles Duque de Man-

das e Historiador Chabret), el ajardinamiento en la plaza Moreno Gans, el jardín Amparo Arce Miralles (Benimaclet), presentado en la figura 5, el jardín de la Plaça de Benimarfull y el ajardinamiento de la calle José María Haro. En todos ellos se han utilizado zanjas drenantes, pozos de infiltración y pequeños cuencos de acumulación para conseguir que las propias zonas verdes gestionen su agua de lluvia. Además, se pretende no aumentar las superficies impermeables en los barrios, dado que hasta ese momento estos jardines eran parcelas abandonadas sin ningún tipo de tratamiento de pavimentación.



Fig. 3\_ Zanjas drenantes y sondeo de infiltración en el Parque Central

Actualmente se encuentran en ejecución el jardín de la c/ Silla con la c/ Esperanza (Benimàmet), el jardín de la c/ Rubén Darío y el jardín en la avenida Ausiàs March. Especial mención merece este último, dado que el promotor, que es un agente privado, ha apostado por este tipo de sistema de drenaje y no solo va a ser gestionada el agua de lluvia propia de la zona ajardinada de más de 3.000 m<sup>2</sup> sino que los viales perimetrales que rodean al mismo con casi 2.000 m<sup>2</sup> van a ser tratados por el mismo sistema de drenaje sostenible diseñado, permitiendo el control en origen de las escorrentías reduciendo y retrasando el caudal punta de llegada a la red de alcantarillado, disminuyéndose el impacto sobre el mismo en tiempo de lluvia.

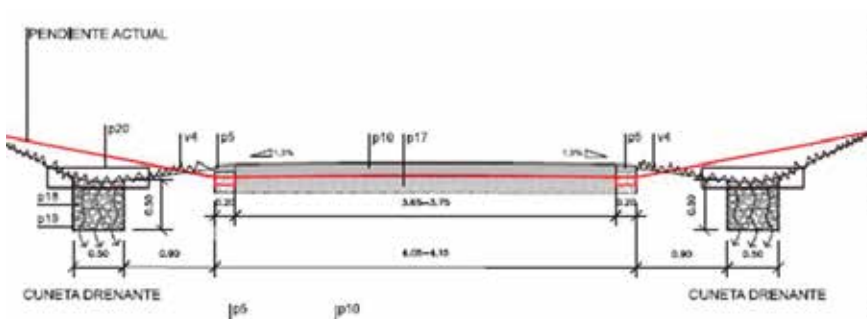


Fig. 4\_ Sección transversal del tramo V1a del Jardín del Turia con sendas zanjas drenantes

El siguiente paso importante en la utilización de SUDs se va a producir en la utilización de este tipo de infraestructuras de drenaje fuera de las zonas ajardinadas y, en particular, en el aparcamiento en superficie (ver figura 6) que dará servicio al nuevo centro comercial programado en el P.A.I. de Fuente San Luis. Este programa, actualmente iniciando su ejecución, está diseñado mediante la incorporación de drenaje urbano sostenible no solo en las zonas ajardinadas, sino también en los paseos peatonales asociados a estos y en el aparcamiento



Fig. 5\_ Jardín Amparo Arce Miralles

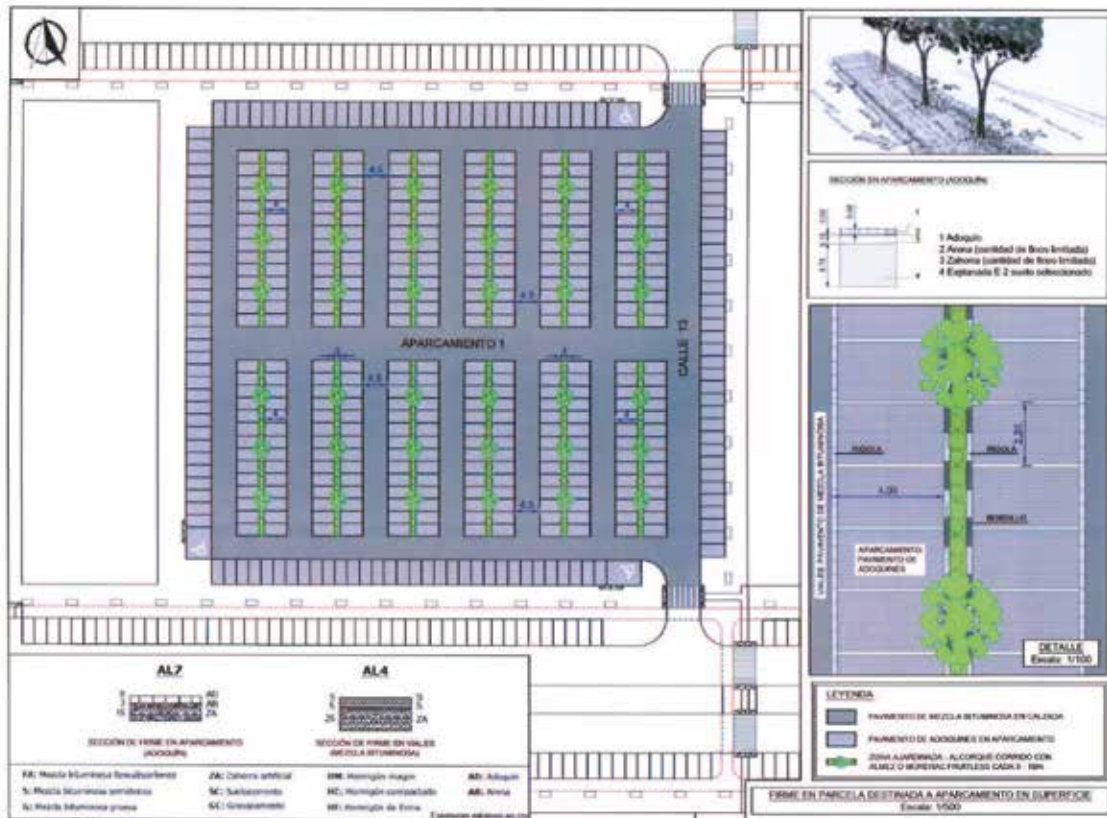


Fig. 6\_ Aparcamiento exterior en el futuro centro comercial mediante pavimento drenante y zanja drenante vegetada

en superficie con capacidad para casi 500 vehículos.

### 3.2. Hitos a analizar

Llegados a este punto convendría reflexionar sobre lo ejecutado hasta la fecha y analizar los aspectos a mejorar para futuros proyectos. Una cuestión a tener en cuenta es dónde diseñar/utilizar drenaje sostenible porque, aunque fuese deseable, no es viable en todos los proyectos.

Los SUDS han pasado de ser los grandes desconocidos a estar presentes a toda costa, sin, en ocasiones, valorar si su utilización es adecuada o no. Los SUDS se han convertido en una “moda” que a menudo lleva a su utilización sin los conocimientos necesarios para elegir correctamente el tipo de sistema, dimensionar correctamente de acuerdo con las características del terreno o hacerlo con los objetivos medioambientales que se quieren alcanzar.

Estos hechos pueden hacer que un paso fallido hacia adelante genere un retorno del escepticismo frente a estos sistemas que tantas barreras supuso hace unos años. Deben darse las garantías para proyectar y ejecutar correctamente los sistemas de drenaje con SUDS en esta etapa en la que todavía deben consolidarse como tecnología plenamente viable para complementar nuestros sistemas convencionales de alcantarillado.

Por ello, es fundamental que los proyectos se hagan con la metodología propia de los proyectos, con estudios de viabilidad, con el diseño de las infraestructuras, la colocación de los cuencos de acumulación, el dimensionamiento de las zanjas filtrantes, de los pozos filtrantes, etc., es decir, teniendo en cuenta en cada proyecto cuál es la solución adecuada para garantizar el correcto funcionamiento. En este punto es donde todavía tenemos mucho recorrido que andar, porque un fracaso siempre se ve más que mil éxitos.

# 4

## Hitos a alcanzar

En el Ayuntamiento de Valencia la división de competencias que cada uno de los servicios municipales tiene hace que en las obras de urbanización cada infraestructura urbana sea prácticamente competencia exclusiva e independiente del servicio a la que corresponda. Esta gestión compartimentada es un problema para el uso de sistemas de drenaje sostenible. Porque los SUDS no son solo competencia del Ciclo Integral del Agua; para poder gestionar las escorrentías en origen son muchos los actores implicados en este teatro:

- El diseño de la ciudad, de un nuevo barrio, nace con el planeamiento urbanístico el cual establece las superficies edificables, los jardines, los viales, etc., estableciendo finalmente el programa.
- Con el desarrollo urbanístico del programa, las edificaciones podrían presentar características especiales en materia de gestión de agua si desde el inicio se establecieran, mediante cubiertas vegetadas, aljibes de acumulación, etc.
- El diseño de la planta viaria deberá contemplar las medianas ajardinadas, los alcorques en aceras, las áreas de aparcamiento, es decir, las zonas permeables de la ciudad.
- El tipo de pavimento a instalar mejorará la infiltración y, por ende, reducirá la escorrentía.
- Una vez desarrollado el barrio, la limpieza viaria, el mantenimiento de los viales y los jardines es fundamental para el correcto funcionamiento de las infraestructuras de drenaje y para mantener los objetivos medioambientales establecidos inicialmente. Es fundamental contar con programas

de mantenimiento adecuado que garanticen la vida útil de estos sistemas.

- La reducción en origen de las escorrentías permitirá una mayor capacidad en los colectores y, con ello, menos vertidos al medio receptor.

Por ello, para poder dar pasos hacia delante de una manera mucho más decidida se hace necesaria la creación de una Comisión Técnica multidisciplinar donde todos los actores intervinientes en el desarrollo de la ciudad se encuentren representados, porque el drenaje sostenible no se debe ver exclusivamente bajo el prisma de la gestión del agua, sino como una tecnología.

Otro aspecto a tener en cuenta, y que no se está haciendo adecuadamente, son las campañas de conocimiento y concienciación a la ciudadanía. Se debería poner en valor la gestión del agua de lluvia desde el origen comunicando, por ejemplo, cómo funcionan los jardines que gestionan completamente su escorrentía. El hecho de que en el momento del episodio lluvia se produzcan charcos en los cuencos de acumulación, en las zonas de infiltración, no implica que el diseño no sea correcto, sino que la acumulación en esos puntos está prevista en el diseño y puede suponer, incluso la reducción de riegos de las especies vegetales y la recarga del acuífero para siguientes demandas.

Con todo ello, desde el Ayuntamiento de Valencia se están dando los pasos firmes en el camino hacia un drenaje más sostenible, una ciudad más azul, más verde, aunque estos pasos se estén haciendo despacio, sin prisa pero sin pausa, con la seguridad de estar haciendo las cosas correctamente. 🌱



# Mejora de la gestión de las aguas pluviales urbanas

en la Empresa Metropolitana de Abastecimiento y Saneamiento de Aguas de Sevilla (Emasesa)



ÁNGEL  
**Mena**

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

Jefe de la División de Ingeniería de Emasesa

## RESUMEN

Desde Emasesa se es consciente de que las soluciones convencionales del drenaje urbano, desarrolladas en los últimos años con una intensa labor de análisis y diagnóstico, son necesarias para solucionar los problemas de inundaciones recurrentes que sufren determinadas zonas de nuestras ciudades, pero que también es necesario realizar un cambio de paradigma en la gestión del ciclo urbano del agua. En el ámbito de la gestión de las aguas pluviales, dicho cambio debe pasar por la implantación progresiva de una estrategia de Desarrollo Urbano Sensible al Agua (DUSA), que incorpore en los procesos de urbanización y desarrollo urbano las denominadas Técnicas o Sistemas de Drenaje Urbano Sostenible (TDUS/SUDS), como una medida complementaria, que permitirá reducir el riesgo de inundaciones, la generación de contaminación y su movilización hacia los cauces naturales.

## PALABRAS CLAVE

Limitación de caudales, estrategia de implantación y experiencias SUDS, mesas asesoras

## ABSTRACT

*EMASESA is aware that the conventional urban drainage solutions, developed over recent years following intense analysis and diagnosis, are necessary to resolve the repeated incidents of flooding that have occurred in certain parts of our cities, but that it is also necessary to make a paradigm shift in the management of the urban water cycle. Within the scope of stormwater management, this shift entails the gradual introduction of a strategy of Water Sensitive Urban Design (WSUD), which incorporates the concept of Sustainable Urban Drainage Systems or Techniques (SUDS/SUDT) within urban development and planning, as a supplementary measure to reduce the risk of flooding, the generation of pollution and its movement towards natural watercourses.*

## KEYWORDS

*Flow restriction, SUDS introduction strategy and experience, advisory boards*

# 1

## Introducción

La ciudad de Sevilla presenta una especial dificultad en la gestión de las aguas de lluvia ante aguaceros de elevada intensidad. Las escasas pendientes de su casco urbano hacen difícil el transporte y evacuación de las aguas pluviales hacia los puntos de desbordamiento, necesitando, en ocasiones, instalaciones de bombeo para compensar la falta de pendiente. A esta dificultad se une la falta de capacidad de transporte de la red en determinadas zonas, lo que ha ocasionado, puntualmente, inundaciones de cierta importancia en la ciudad.

Conscientes de esta situación, Emasesa ha desarrollado durante los últimos años una intensa labor de análisis y diagnóstico de los problemas existentes en sus redes de alcantarillado ante lluvias intensas. A través de estos estudios se detectan los puntos conflictivos de la infraestructura y se proponen las actuaciones necesarias para evitar las inundaciones, con un grado razonable de recurrencia, y que son recogidas en un documento denominado Plan Director. El origen del problema está, no solo correctamente identificado: crecimiento urbanístico desmesurado, impermeabilización excesiva de los suelos, criterios de diseño hidrológico-hidráulicos de los años 60, etc., sino que se ha trasladado fielmente a los modelos de lluvia-escorrentía e hidráulico de nuestras cuencas urbanas, que reproducen, con un grado de certidumbre más que razonable, la problemática que se pretende abordar.

Como resultado de esa labor y de las singulares inundaciones ocurridas en otoño de 2014, se desarrolló un Plan extraordinario de Inversiones, 2015-2020, que fue aprobado por los Órganos de Gobierno de la empresa y que contempla una serie de obras especiales (colectores interceptores y depósitos de retención) contra inundaciones.

Convencidos de la efectividad de las soluciones ejecutadas en los últimos años para la mejora del drenaje urbano, de forma paralela y como complemento a las anteriores, desde el año 2007 se vienen ejecutando Técnicas o Sistemas de Drenaje Urbano Sostenible en la red de alcantarillado de Emasesa, mejorando así la gestión de las aguas pluviales en los episodios de lluvias extraordinarias.

En este sentido, el Consejo de Administración de Emasesa, en sesión celebrada el 29 de junio de 2016, aprobó el documento denominado "Hoja de ruta para la Planificación estratégica de Emasesa de forma participada", con el objetivo de "iniciar un proceso de análisis, reflexión y elaboración de propuestas para incorporar los nuevos planteamientos científicos referidos a la gestión del ciclo urbano del agua (...)". En particular, dentro de las bases de partida para la planificación, especifica entre otros aspectos, la necesidad de una "mayor atención a la integración de las aguas pluviales, los procesos de escorrentía, la red de drenaje, los espacios públicos, la vegetación, la infiltración y las aguas subterráneas".

Por todo lo anterior, Emasesa ha trabajado en cuatro direcciones:

- Aspectos normativos: recomendaciones para la Gestión de las Aguas Pluviales en Emasesa.
- Planeamiento: estrategia para la implantación de SUDS en Sevilla y el asesoramiento y apoyo a promotores y consultores.
- Ejecución de infraestructuras: experiencias en SUDS.
- Participación: mesas asesoras.

# 2

## Normativa: recomendaciones para la Gestión de las Aguas Pluviales en Emasesa

En el año 2017 Emasesa publicó las Recomendaciones para la Gestión de las Aguas Pluviales (RGAP), como documento anexo a las Instrucciones Técnicas de Saneamiento, instrucciones que a su vez están incluidas en las Ordenanzas Municipales. El documento redactado, viene a dar respuesta a:

- El cambio de sistema de saneamiento en Emasesa, de unitario pasa a ser separativo.
- El cumplimiento del 1290/12 Reglamento del DPH y del 109/15 Reglamento de vertidos al DPH y DPMT Andaluz.
- Al vacío legislativo en la materia para los promotores.

Los operadores públicos tenemos la obligación de exigimos criterios de eficiencia en el diseño y la explotación, optimizando la gestión de las pluviales y controlando aspectos relativos a la generación de escorrentía superficial, la gestión de los caudales de saneamiento circulantes, la mejora del tratamiento y de la calidad de los vertidos de las redes de saneamiento, la ejecución y mantenimiento de las grandes infraestructuras de saneamiento, así como de sus costes sociales, medioambientales y de ejecución. Todo ello redundará en beneficios medioambientales, sociales, técnicos y económicos.

Para el cumplimiento de estos objetivos, las RGAP se basan en un aspecto sencillo de entender, medir y controlar; la limitación de los caudales de escorrentías pluviales procedentes de los espacios públicos, o privados, que acometen al alcantarillado de Emasesa. Se distinguen dos escenarios:

a) Nuevos desarrollos. Estos casos se refieren a los proyectos de nuevos sectores a urbanizar, en los que habrá que diseñar los necesarios sistemas de saneamiento, teniendo en cuenta los siguientes criterios:

- Las redes a ejecutar deberán ser separativas.
- El caudal máximo de escorrentías procedentes de las parcelas que acometen a la red de pluviales, denominado Caudal sostenible de Parcelas ( $Q_{sp}$ ), se limita a 100 l/seg-ha, independientemente del uso urbanístico de la parcela, lo que obligará al proyectista a prever en su proyecto, las medidas de gestión eficiente de estos caudales, que garanticen el cumplimiento de este objetivo.
- El caudal máximo de escorrentías procedentes de los viarios

públicos que acometen a la red de pluviales, denominado caudal sostenible de Viales ( $Q_{SV}$ ), será de 150 l/seg-ha.

- El caudal de diseño para colectores de alcantarillado será el obtenido por la siguiente expresión  $Q \geq 2 Q_{SP} + 1.4 Q_{SV}$
- Las redes pluviales deberán conectarse a otras redes pluviales o, en su defecto, extenderse hasta el medio receptor.

b) Nuevas edificaciones en zonas urbanizadas. Estos casos se refieren a los proyectos de nuevas edificaciones en sectores urbanizados. Nos encontramos en área de cobertura de Emasesa, pudiéndose distinguir dos sub-escenarios:

b.1) Las redes existentes tienen capacidad para transportar las nuevas aportaciones:

- El caudal máximo de escorrentías, procedentes de las parcelas que acometen a la red de pluviales, será el  $Q_{SP}$

b.2) Las redes existentes no tienen capacidad para transportar las nuevas aportaciones:

- El Promotor deberá ampliar la red existente, para dotarla de capacidad de transporte suficiente, como mínimo para el caudal de diseño  $Q \geq 2 Q_{SP} + 1.4 Q_{SV}$
- El caudal máximo de escorrentías, procedentes de las parcelas que acometen a la red de pluviales, será el  $Q_{SP}$

En ambos sub-escenarios, la red se conectará al sistema existente, sea unitario o separativo.

Para que los promotores puedan cumplir con estas exigencias, las RGAP establecen una serie de pautas, recomenda-

ciones y criterios que, esquemáticamente, pueden resumirse en:

- Técnico competente: el diseño de las nuevas infraestructuras del sector urbanístico, o de la nueva edificación, deberán ser realizados por técnico competente en la materia.
- Modelización matemática: en todos aquellos sectores cuya superficie exceda de los 5.000 m<sup>2</sup>, sus redes deberán diseñarse mediante el empleo de modelos hidrodinámicos.
- Nivel de seguridad: el Promotor decidirá cuál será su nivel de seguridad frente a inundaciones, ya que está dimensionando sus redes interiores con la limitación del caudal a verter a la red general, pero como mínimo empleará la lluvia de diseño de Emasesa para periodo de retorno de 15 años.
- Empleo de SUDS: en el caso de que la parcela, o sector, haya sido impermeabilizada en exceso y supere los límites establecidos por los caudales sostenibles, el RGAP propone el empleo de SUDS que contribuyan a infiltrar, laminar, retener o detener parte de las escorrentías generadas hasta conseguir los caudales máximos permitidos.
- Red interior: los SUDS son considerados como elementos de la red interior del Promotor, que asumirá, en función del riesgo que haya prefijado, su dimensionamiento, ejecución, mantenimiento y explotación, siendo, por lo tanto, responsable de cualquier incidencia que pueda acontecer.

Por último, las RGAP aportan un glosario de técnicas SUDS a emplear en Sevilla, clasificándolas según su finalidad en cuatro tipologías: de detención, de retención, de infiltración y, por último, de tratamiento. Dentro de cada una de estas tipologías se definen aquellas técnicas más propicias para Sevilla, cuyo cuadro resumen se presenta en la tabla 1.

Finalidad	Propuesta tipología SUDS	Artículo que lo define
Detención	Estanques de detención	3.3.1.1.
	Depósitos de detención	3.3.1.2.
	Tanques de tormentas 1er lavado	3.3.1.3.
Retención	Aljibes	3.3.2.1.
	Depósito de retención*	3.3.2.2.*
Filtración	Cubiertas vegetadas	3.3.3.1.
	Franjas filtrantes	3.3.3.2.
	Zanjas drenantes	3.3.3.3.
	Filtros de arena	3.3.3.4.
Infiltración	Alcorques de infiltración	3.3.4.0.
	Pavimentos permeables	3.3.4.1.
	Jardines/praderas de lluvia	3.3.4.2.
	Sistemas enterrados de infiltración	3.3.4.3.
	Estanques de infiltración	3.3.4.4.
Tratamiento	Zonas de biorretención	3.3.5.1.
	Cunetas vegetadas	3.3.5.2.
	Humedales artificiales	3.3.5.3.
	Estanques de retención	3.3.5.4.
	Tanques de tormentas anti DSU*	3.3.5.5.*

Tabla 1. Cuadro resumen de tipología de técnicas SUDS y su referencia al artículo del RGAP

(\*) se trata de elementos que consideramos SUDS pese a no gestionar exclusivamente aguas pluviales

### **3** **Planeamiento: definición de una estrategia de implantación de técnicas de drenaje urbano sostenible en subcuencas urbanas consolidadas en Sevilla**

En colaboración con la Universidad de A Coruña y Green Blue Management, Emasesa desarrolló, durante el año 2018, esta metodología que define, de manera semicuantitativa, los beneficios de la implantación de técnicas SUDS en el ámbito de la cuenca urbana del Tamarguillo (Sevilla). El procedimiento propuesto consiste en la definición de una serie de cuencas piloto, con unos usos del suelo característicos de la cuenca, y el análisis de los beneficios que supone la implementación de los SUDS, en términos de reducción de caudales punta y volúmenes de escorrentía.

Como paso previo a la aplicación de la metodología, se realizó una revisión de las tipologías de técnicas SUDS existentes y cómo estas están recogidas en las distintas normativas e instrucciones de ámbito nacional e internacional. A continuación, se realizó un análisis del medio físico de la cuenca, valorando aspectos como:

- El régimen pluviométrico, elaborándose las curvas IDF para el conjunto de pluviómetros de Emasesa y los pluviómetros de AEMET.
- La geología, donde se ha puesto en relieve que la profundidad del nivel freático no será un parámetro limitante para la elección de técnicas SUDS.
- Los usos del suelo, empleándose los datos del Plan General de Ordenación Urbana, lo que permitió una clasificación y usos predeterminados del suelo, que han servido para analizar la implantación de SUDS a escala de la cuenca del Tamarguillo.

Las seis tipologías de medio urbano existentes: zona residencial abierta (de baja densidad), zona residencial densa (de alta densidad), zona comercial (grandes superficies), zona industrial, parques y jardines y edificios públicos, en el trabajo de implantación de SUDS a escala de la cuenca del Tamarguillo, se han reducido a tres: zona residencial abierta, zona residencial densa y zona industrial.

Tras el estudio del medio físico y de las tipologías de medio urbano, se propone una clasificación de técnicas SUDS, con una serie de pautas globales, que permitan escoger las más adecuadas al entorno de Sevilla.

A continuación se presenta una revisión de los criterios más habituales para el diseño de técnicas SUDS, entre los que destacamos el empleo de las limitaciones de caudales previstas en las RGAP, ya comentadas anteriormente.

Las tres cuencas piloto que representan cada uno de los tres medios urbanos han sido:

- Una manzana en el entorno de la Avenida de la Asociación de Vecinos, como representativa del uso residencial abierto.
- La zona de la calle Fray Diego se ha seleccionado como uso típico de residencial denso.
- El entorno de la avenida de Automoción como el uso industrial.

En cada una de estas zonas se han definido a su vez tres estrategias de implantación de técnicas SUDS:

- Cuenca piloto sin SUDS
- Cuenca piloto con SUDS para el viario
- Cuenca piloto con SUDS para el viario y las cubiertas

Estos escenarios se han aplicado a los usos residencial de baja densidad e industrial. Para el uso residencial de alta densidad se considera poco viable tratar las aguas de los tejados, por lo que los escenarios analizados contemplan: la no implantación de SUDS, la implantación de SUDS en el viario principal de la manzana y la implantación de SUDS en todo el viario.

Una vez establecidos todos los elementos previos del entorno de la actuación y seleccionadas las tipologías de SUDS más adecuadas, se ha realizado la modelización de las cuencas piloto con el empleo de los programas informáticos Micro Drainage y SWMM.

A pesar de las diferencias conceptuales empleadas en cada modelo para el tratamiento de las técnicas SUDS, los resultados obtenidos con ambos modelos son similares. Para las lluvias máximas, el rendimiento de reducción de caudales pico es aproximadamente de:

- Un 40 % para el uso residencial abierto, con escasa influencia del tratamiento del área de las cubiertas.
- Entre el 10 % y el 25 % para la cuenca residencial densa.
- Entre el 10 % y el 14 % para las cuencas industriales, con porcentajes superiores cuando se trata el agua de las cubiertas.

Por otro lado, la reducción del volumen de escorrentía es aproximadamente:

- Del 70 % al 95 % en la residencial abierta, dependiendo de si se trata el agua, o no, de las cubiertas.
- Del 15 % al 22 % para el uso residencial cerrado, en el que no se trata el agua de las cubiertas.
- De un 30 % a un 75 % para el uso industrial, igualmente, en función del tratamiento de las cubiertas.

El último paso en la definición de la estrategia ha consistido en realizar un cambio de escala, de las propuestas a nivel de cuenca piloto, a contemplar todo el área de la cuenca del Tamarguillo (1.500 ha). Para ello se ha empleado el modelo SWMM de toda la cuenca, donde se han incorporado las técnicas SUDS en toda la superficie urbana. Al realizar este cambio de escala se han considerado los escenarios más viables para la implantación de SUDS que son, la no incorporación del área de las cubiertas en las cuencas tipo industrial y residencial abierta, y la incorporación de todo el viario en las cuencas residenciales densas. Esta implantación se ha realizado con distintos porcentajes de cobertura de superficies SUDS: 0 % (no se implantan SUDS), 20 %, 50 % y 100 %. Debido al elevado coste computacional del modelo completo en la cuenca del Tamarguillo, únicamente se han podido realizar los cálculos con la lluvia de diseño T=15 años, obteniéndose solo resultados de caudal y no de volumen retenido. Con este registro pluviométrico, la reducción en el caudal de entrada en un determinado punto de control de la cuenca es máxima cuando la cobertura es del 100 %, del orden del 50 % del

caudal punta, mientras que para el 50 % y el 20 %, la reducción es del orden del 19 % y el 7 %, respectivamente. Además, también se ha comprobado como los escenarios pésimos de atenuación de caudales punta y reducción de volúmenes no se producen para la lluvia de diseño, sino para eventos reales de precipitación, en los que si se refleja la influencia del tiempo seco precedente a cada evento de lluvia. Así, la concatenación de eventos de precipitación puede provocar que las estructuras de control de la escorrentía pluvial no dispongan de la máxima capacidad de almacenamiento o infiltración, y que esta circunstancia afecte a los rendimientos de atenuación de puntas o control del volumen de escorrentía.

Por último, cabe señalar la importancia de realizar el proceso de implantación de técnicas SUDS de manera progresiva, para poder monitorizar su funcionamiento y valorar si los resultados esperables concuerdan con los de este trabajo. Este hecho es importante porque el volumen específico de almacenamiento de las soluciones propuestas es considerable, de unos 144 m<sup>3</sup>/ha neta.

## 4 Ejecución de infraestructuras: Experiencias SUDS en Sevilla

En el firme convencimiento de las ventajas que la implementación de SUDS suponen para el alcantarillado, tal y como nos lo demuestra el estudio anteriormente citado, desde hace más de una década, Emasesa ejecuta numerosas actuaciones donde los SUDS tienen un papel importante en la gestión de las aguas pluviales de escorrentías urbanas, valgan los siguientes ejemplos:

- Depósitos de detención en cuencas externas de Dos Hermanas. En servicio desde el año 2007, se encuentran ubicados en la avenida Juan Pablo II y en la bda. Ibarburu, con planta rectangular de 60 x 35 m y una altura máxima de lámina de agua 1,5 m, cubican 2.500 m<sup>3</sup>, siendo su desagüe por gravedad. Con un mantenimiento mínimo, están funcionando perfectamente (fig. 1).



Fig. 1\_ Vaso de detención ubicado en Avd. Juan Pablo II

- Pozos e imbornales drenantes en Higuero Sur (Sevilla). Ejecutados en el año 2012, se encuentran ubicados en la playa de

aparcamientos de una gran zona comercial. Su planta es rectangular de 1,5 x 2,0 m y tienen una profundidad de 2,5 a 3,0 m. Los imbornales anexos disponen de una doble acometida, la primera conecta con el pozo drenante, y la segunda, a modo de fusible, conecta a la red de pluviales del sector. Aunque desde su puesta en servicio la limpieza y mantenimiento ha sido prácticamente nulo, continúan teniendo un correcto funcionamiento (fig. 2).



Fig. 2\_ Pozo e imbornal drenante ejecutado en playa de aparcamientos

- Retención de escorrentías en sector urbanístico avda. Andalucía (Sevilla). Este es el claro ejemplo de la dificultad que muchos operadores se encuentran a la hora de implementar SUDS con unos agentes urbanizadores reticentes al empleo de estas técnicas. La solución pasó por limitar a 150 mm la acometida del sector, obligando a laminar y retener los excesos de pluviales mediante el almacenamiento de las escorrentías en colectores enterrados de gran sección.

- Pavimento Drenante calle Manzanares. Distrito de Triana (Sevilla). Ejecutado en 2018, consiste en el drenaje de una plaza peatonal de Triana mediante el empleo de 420 m<sup>2</sup> de solería de hormigón permeable, tipo adoquín, sobre capa de grava de 1,20 m de espesor, con bombeo hacia el centro de la misma (fig. 3).



Fig. 3\_ Última fase de ejecución: pavimentación mediante adoquín permeable



Fig. 4\_ (a) Zanjas filtrantes en zona de aparcamientos  
(b) Jardín de lluvia ejecutado en parque periurbano

- Jardines de lluvia y zanjas filtrantes en Parque Norte (Alcalá de Guadaíra). En esta actuación hemos constatado que los SUDS también pueden funcionar cuando no es posible infiltrar al terreno. Es el caso de Alcalá de Guadaíra, donde, a escasos centímetros de la superficie del terreno, nos encontramos con una roca de albero totalmente impermeable. Las soluciones planteadas en este parque periurbano han consistido en jardines de lluvia interconectados, que laminan y detienen en sus vasos las puntas de caudal, hasta que son dirigidas al alcantarillado existente. En la zona de aparcamiento se ha dispuesto de una zanja dren, que aumenta considerablemente los tiempos de recorrido del agua hasta llegar, de nuevo, al alcantarillado (figs. 4a y 4b).

- Zanjas filtrantes y zonas de biorretención en avda. El Greco (Ciudad Saludable), en Sevilla. Actualmente en ejecución, integra los SUDS como una de las técnicas necesarias a contemplar en la idea de Ciudad Saludable. Esta actuación pretende desarrollar un modelo de ciudad respetuosa con el medio ambiente, social y saludable, mediante la reducción de la contaminación atmosférica y del nivel de ruido por tráfico, la eficiencia del alumbrado público, la ampliación y mejora de los espacios ajardinados, el incremento de espacios dedicados al peatón y la mejora de la movilidad con el carril bici. Los SUDS empleados han sido pavimentos drenantes, jardines de lluvia, zonas de biorretención y zanjas drenantes. Además, se han diseñado dos aljibes de almacenamiento de agua de lluvia, que recogen el exceso de las zanjas drenantes, para su uso en el riego de parterres (figs. 5a y 5b).

- Y otras muchas más como: los depósitos de infiltración mediante celdas y pavimentos permeables en bda San Carlos, zanjas filtrantes en avenida 28 de Febrero, pavimentos filtrantes en calle Puerto Zegri, un pozo de infiltración en la plaza de los inventores, alcorques de infiltración, parterres inundables y pavimento permeable en avda. Asociaciones de Vecinos, zanjas filtrantes en avenida Seneca, etc.



Fig.5\_ (a) Sección constructiva de los SUDS diseñados en Avd. El Greco  
(b) Ejecución de una de las áreas de biorretención en acerado

## 5 Las mesas asesoras del Observatorio del Agua de Emasesa

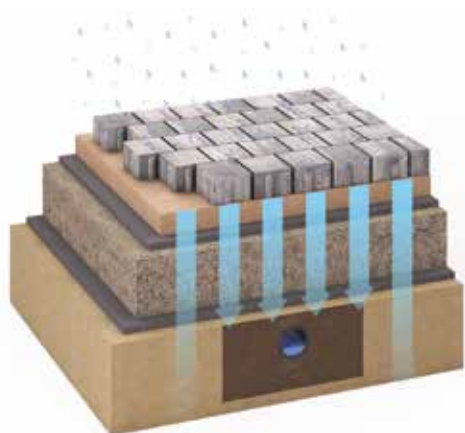
El observatorio del agua de Emasesa, como órgano asesor participativo de la empresa, trabaja con la misión de mejorar el proceso de toma de decisiones, impulsando la negociación, la corresponsabilidad y la colaboración-cooperación, a fin de legitimar, en mayor medida, el desarrollo y puesta en marcha de las acciones enmarcadas en nuestro Plan Estratégico, Gestión Pública Sostenible.

Constituido por cuatro mesas asesoras: Dotación infraestructural; Proyección Ambiental; Servicios de Calidad; y Orientación a las personas y Conocimiento, están integradas por representantes de nuestros grupos de interés, especialistas y personal de Emasesa, que nos ayudan a genera y evaluar nuestra estrategia de gestión.

Emasesa, cuenta pues, con la estructura de gobernanza participativa, abierta y transparente apropiada para poder avanzar en la gestión del drenaje urbano, permitiendo afrontar los retos, tanto actuales como futuros, en una toma de decisiones integrada por los distintos agentes implicados en el diseño, ejecución, mantenimiento, explotación y uso de las infraestructuras.

## 6 Conclusiones

Convencidos de la mejora que supone para el sistema de alcantarillado la ejecución de Técnicas o Sistemas de Drenaje Urbano Sostenible, Emasesa se ha dotado de los conocimientos y experiencias, de las herramientas normativas y de planeamiento, así como de los medios de participación suficientes para una implantación progresiva de estas infraestructuras, con el objetivo de seguir mejorando la gestión de las aguas pluviales en nuestras ciudades. 🌐



## ECOAQUA™

### SISTEMA DE DRENAJE URBANO SOSTENIBLE

El sistema ECOAQUA™ aporta nuevas y espectaculares soluciones como sistema modular de drenaje urbano sostenible. Desarrollado con la filosofía de reproducir el ciclo hidrológico natural del agua previo a la acción urbanística, consigue además una importante disminución del efecto isla de calor y una excelente integración paisajística.

Los formatos ECOAQUA™ se combinan formando un sistema completo que ofrece soluciones para cualquier necesidad. Desde las losas de gran formato, hasta el adoquín, una completa gama con la que formar texturas, encaminamientos o zonas de textura mixta tanto en entornos urbanos, en parques y jardines como en obra privada.

Más información en: [quadro.es](http://quadro.es) · 910 327 740 · [info@quadro.es](mailto:info@quadro.es)

Los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible en  
**las enseñanzas de  
Grado y Postgrado  
en Ingeniería Civil:**

La experiencia pionera de la Universidad de Oviedo



**LUIS A.  
Sañudo**

Ingeniero de Caminos,  
Canales y Puertos.  
Coordinador del Máster  
Universitario en Ingeniería de  
Caminos, Canales y Puertos,  
y Profesor del Área de  
Ingeniería de la Construcción,  
Departamento de Construcción  
e Ingeniería de Fabricación,  
Universidad de Oviedo

**ZENAIDA A.  
Hernández**

Ingeniera de Caminos,  
Canales y Puertos.  
Ingeniera en ejercicio libre de la  
profesión. Profesora Asociada  
del Área de Ingeniería de la  
Construcción, Departamento  
de Construcción e Ingeniería  
de Fabricación, Universidad de  
Oviedo



**ÁNGEL  
Martín**

Ingeniero Industrial.  
Vicepresidente de INCUNA  
(Industria, Cultura, Naturaleza).  
Profesor del Área de  
Ingeniería de la Construcción,  
Departamento de Construcción  
e Ingeniería de Fabricación,  
Universidad de Oviedo

**FELIPE P.  
Álvarez**

Ingeniero Industrial.  
Coordinador Docente del Área  
de Ingeniería de la Construcción  
y Profesor del Área de  
Ingeniería de la Construcción,  
Departamento de Construcción  
e Ingeniería de Fabricación,  
Universidad de Oviedo





# 1

## Introducción: necesidad de la formación en SUDS

### RESUMEN

Las nuevas estrategias de desarrollo territorial de la Unión Europea exigen la implementación de infraestructura verde, y de los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) para su vertiente relacionada con la gestión del agua de lluvia. Sin embargo, este requerimiento no ha sido implementado de manera integral en los estudios de ingeniería, representando una brecha en la formación de los ingenieros civiles y en su conocimiento sobre dichas técnicas. La Universidad de Oviedo ha desarrollado un programa docente innovador que integra los SUDS en las titulaciones de grado y postgrado en ingeniería civil.

### PALABRAS CLAVE

Diseño Urbano Sensible al Agua (DUSA); educación interdisciplinar; innovación docente; soluciones basadas en la naturaleza

### ABSTRACT

*New strategies for urban development in the European Union require the introduction of green infrastructure and Sustainable Urban Drainage Systems (SUDS) within the area of stormwater management. However, this requirement has not been fully reflected in engineering studies, which represents a gap in the education of civil engineers and their knowledge of these techniques. The University of Oviedo has developed an innovative syllabus that incorporates SUDS in its undergraduate and post-graduate civil engineering studies.*

### KEYWORDS

*Water Sensitive Urban Design (WSUD); inter-disciplinary education; innovative teaching; nature-based solutions*

La sociedad actual demanda una mayor calidad de los servicios urbanos, mientras que la presión sobre el suelo es cada vez mayor dada la intensa actividad desarrollada por el ser humano. Todo ello, sumado a un contexto de cambio climático y falta de superficies permeables en las ciudades, ha derivado en problemas de inundaciones y degradación del medio urbano con graves consecuencias para la salud y la seguridad del ciudadano (Baccini et al., 2011). La Agencia Europea del Medio Ambiente (AEMA) ha dado un rol principal a la infraestructura verde, mostrando su capacidad de mitigar los efectos negativos de los peligros naturales relacionados con el cambio climático (AEMA, 2015), al mismo tiempo que la Unión Europea (UE) ha desarrollado una estrategia (Unión Europea, 2014) para la implantación de soluciones basadas en la naturaleza (*Nature-Based Solutions –NBS–*). Dichas NBS proporcionan servicios ecosistémicos a los entornos urbanos, mejorando las condiciones de vida, al mismo tiempo que se gestionan los problemas de inundaciones y sequías, y se incrementa la calidad del agua procedente de la escorrentía urbana y la biodiversidad urbana (Kabisch et al., 2016). Los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) contribuyen a proporcionar todos esos beneficios, y actúan como elementos multifuncionales en el entorno urbano (Woods Ballard et al., 2015).

A pesar del amplio consenso existente en España, y en Europa, tanto en los ámbitos profesionales como académicos, alrededor de la aplicación de los SUDS en la ciudad, no existe un plan docente en los estudios relacionados con la ingeniería civil para dar respuesta a la demanda de la sociedad europea.

El Área de Ingeniería de la Construcción, Departamento de Construcción e Ingeniería de Fabricación, de la Universidad de Oviedo, detectó dicho problema y ha elaborado un proyecto de innovación docente en colaboración con otras áreas de conocimiento y otras universidades de ámbito internacional, de manera que los títulos oficiales habilitantes para las profesiones de ingeniería civil en la Universidad de Oviedo produzcan profesionales con los conocimientos necesarios para desarrollar competencias en el diseño, construcción y mantenimiento de SUDS, dando respuesta a la necesidad social manifestada por la UE. Ya existen experiencias previas desarrolladas con éxito en temáticas similares, como por ejemplo la seguida en la Universidad de Guelph (Canadá) en diferentes cursos de grado y máster para la implementación del Desarrollo de Bajo Impacto (Bradford et al., 2010).

# 2

## Proyecto de Innovación Docente

La Universidad de Oviedo ha venido desarrollando, de forma pionera, un proyecto de innovación docente denominado “La infraestructura verde y los sistemas urbanos de drenaje sostenible en los estudios de grado y postgrado en Ingeniería”, el cual comenzó en el curso 2016-2017 con la apertura de los estudios de máster universitario en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos (máster en Ingeniería de Caminos). Para ello ha utilizado como marco de desarrollo del programa docente los estudios de Ingeniería Civil, el doble grado en Ingeniería Civil e Ingeniería de los Recursos Mineros y Energéticos y el máster en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos. El principal motivo del uso de los estudios de ingeniería civil de grado y postgrado se debe al importante nivel transdisciplinar que aporta la profesión de ingeniero de Caminos, Canales y Puertos en la que se engloban todas las titulaciones anteriores. La temática SUDS requiere, precisamente, de un enfoque multidisciplinar, encontrando en el ingeniero de Caminos a un aliado vital en su planificación y aplicación final.

El proyecto consta de un total de 9 asignaturas divididas de la siguiente forma:

- Títulos de grado (EPM 2016a, b): Historia de la Ingeniería Civil; Edificación; Servicios Urbanos y Medioambientales; Caminos; Hormigón Pretensado y Prefabricación; Trabajo Fin de Grado (TFG).
- Máster en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos (EPM 2016c): Cartografía Digital, Urbanismo y Ordenación del Territorio; Estructuras y Edificaciones de Obra Civil; Trabajo Fin de Máster (TFM).

El proyecto se divide, además, en cuatro grandes bloques o tareas:

### 1. COORDINACIÓN.

La complejidad y ambición de este proyecto requiere de una labor de coordinación extensa y detallada, distinguiendo entre cuatro tipos de actividades de coordinación: coordinación global del proyecto docente, coordinación de las asignaturas del grado y el doble grado, coordinación de las asignaturas de postgrado, incluyendo el máster en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos y el futuro programa de doctorado, y coordinación de los cursos de extensión universitaria a profesionales.

### 2. MEDICIÓN DEL IMPACTO DEL PROYECTO DOCENTE.

La captura del impacto del programa sigue la rigurosa metodología de recogida de información de las universidades británicas, apoyándose en la colaboración con la Coventry University, galardonada como Universidad Moderna del Reino Unido en los siete últimos años de forma consecutiva (Coventry University 2018), distinguiéndose tres áreas fundamentales de trabajo: elaboración de cuestionarios para el estudiante, expresamente desarrollados para el presente programa, recogida de datos de la industria en cuanto a la aplicación de los SUDS y la integración de los estudiantes, así como la

medida del impacto académico y de la continua formación en las nuevas tendencias internacionales.

### 3. METODOLOGÍAS DOCENTES INNOVADORAS.

La base fundamental de la enseñanza se basa en la metodología basada en proyectos reales o *Project Based Learning* (PBL) (Jayasuriya, 2008) y en la denominada como docencia invertida o *Flipped Learning* (FL) (Lucke et al., 2016), donde se suministra al estudiante material de estudio y consulta previo a la clase, liberando tiempo para actividades de cooperativas prácticas en la clase. Se introduce, además, docencia específica en herramientas de diseño de SUDS y drenaje urbano como el EPA-SWMM o el QGIS, entre otros, además de diseño, construcción, mantenimiento y monitorización de SUDS en inglés, impartida por profesionales internacionales. Dentro de toda esta actividad se han venido organizando los Premios a la Innovación en Drenaje Sostenible Green Streets en el máster en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos, consistente en el diseño por grupos de 3-4 alumnos, de SUDS en proyectos reales, siendo la primera edición un proyecto de rehabilitación urbana en la avenida Meridiana, de Barcelona, y la segunda edición consistió en la rehabilitación del bulevar de Santuyano, en Oviedo. Los trabajos grupales fueron evaluados por un tribunal externo formado por profesionales de la Administración Pública, la empresa y la universidad. Finalmente, se ofrece una amplia oferta de TFG y TFM para el desarrollo más profundo de los SUDS por parte de cada estudiante, de modo que logren la especialización requerida por la industria.

### 4. DISEMINACIÓN.

El programa ofrece información a través de las redes sociales, usando como principal elemento de diseminación la cuenta de Twitter del equipo de investigación UOStormwater (University of Oviedo Stormwater Engineering Research Team, 2018). El proyecto se viene publicando desde hace dos años en diferentes conferencias nacionales e internacionales de docencia e innovación (Sañudo-Fontaneda et al., 2017, 2018), habiéndose consolidado como un referente internacional de la formación en SUDS en Ingeniería Civil.

# 3

## Resultados del proyecto hasta el curso 2017-2018

La participación de los alumnos ha sido muy elevada, llegando a un 99 % de éxito en la calificación final obtenida en el Premio otorgado por el máster en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos (fig. 1).

La calificación obtenida por las asignaturas del programa dentro del máster por parte de los estudiantes, alcanzaron las puntuaciones más altas dentro de la titulación, siendo además descritas como las de mayor aplicación a la profesión y aquellas con mayor utilidad. Asimismo, la dificultad que introdujeron los tribunales externos formados por profesionales en ingeniería y arquitectura incrementaron el nivel de exigencia, acercando al estudiante a la realidad profesional y a la demanda de la industria.

El programa ha logrado aportar un valor añadido a los estudios de ingeniería civil, produciendo un aumento de peticiones para

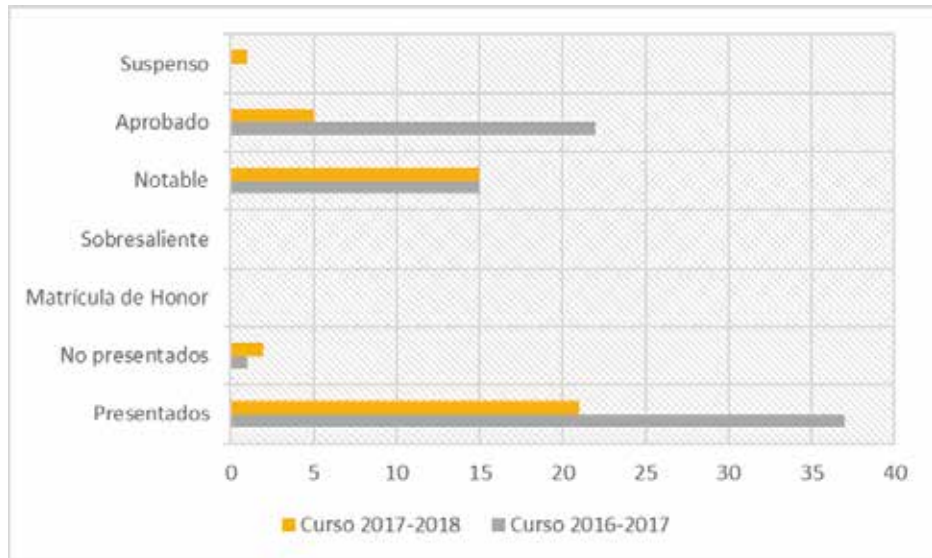


Fig. 1\_ Distribución de las calificaciones del alumnado en la asignatura de Estructuras y Edificaciones de Obra Civil (máster en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos), representando la fase final del programa docente



Fig. 2\_ Grupo de estudiantes del máster en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos exponiendo su trabajo al tribunal externo de profesionales en SUDS durante la presentación del I Premio en Innovación en drenaje sostenible (izquierda) y noticia aparecida en el periódico *La Nueva España* sobre el proyecto de innovación docente (curso 2016-2017)



Fig. 3\_ Seminario especializado dentro del programa de innovación impartido por William F. Hunt, William Neal Reynolds Distinguished Professor of the North Carolina State University



la realización de TFG y TFM, como muestra de su último paso hacia la incorporación final a la profesión a la que habilita cada estudio. Se contribuye, por tanto, a la creación de profesionales más preparados frente a los retos del cambio climático y la resiliencia de las ciudades.

Se introdujeron de forma exitosa actividades de I+D+i con la incorporación de las últimas investigaciones del profesorado internacional participante en el programa, prestando especial atención a las ponencias impartidas por docentes, profesionales e investigadores de prestigio internacional (ver fig. 3).

# 4

## Conclusiones y futuras líneas de trabajo

El desarrollo de este programa convierte a los alumnos de la Universidad de Oviedo en los únicos ingenieros de Caminos de España con formación específica en el diseño, construcción y mantenimiento de SUDS, sin necesidad de obtener formación externa a través de cursos especializados.

La participación de expertos internacionales en SUDS ha permitido incorporar las últimas tecnologías y tendencias dentro del diseño y construcción de SUDS, aportando a nuestros estudiantes una visión más amplia a la formación de la universidad española.

Finalmente, los ingenieros de Caminos españoles se convierten en los primeros ingenieros civiles a nivel de máster en Europa con las capacidades y competencias necesarias para afrontar el diseño, planificación e implantación integral de SUDS.

Las futuras líneas de trabajo, que ya se han comenzado a desarrollar, son las siguientes, por orden de aplicación:

a) Inclusión de la línea de trabajo en SUDS dentro del futuro programa de doctorado en Ingeniería de los Recursos Naturales de la Universidad de Oviedo (DIRENA), a implantarse en el curso 2019-2020.

b) Proceso de expansión nacional e internacional del programa mediante la colaboración con universidades de otros países. 🌐

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al máster en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos y a la Escuela Politécnica de Mieres, Universidad de Oviedo, por su apoyo, así como la financiación de la universidad para el desarrollo del UOStormwater a través del proyecto con referencia PAPI-17-PEMERG-22 y el IUTA – Ayuntamiento de Gijón a través del proyecto con referencia SV-18-GIJÓN-1-23, ambos destinados al desarrollo de los SUDS en la Universidad de Oviedo y en el Principado de Asturias. También agradecen de forma especial la financiación recibida por el FICYT a través del Programa GRUPIN con referencia IDI/2018/000221 y cofinanciada con Fondos FEDER de la UE; así como a la North Carolina State University (EEUU) y la Coventry University (Reino Unido) por su inestimable colaboración.

## REFERENCIAS

- Agencia Europea de Medio Ambiente (AEMA) (2015): *Exploring nature-based solutions. The role of green infrastructure in mitigating the impacts of weather- and climate change-related natural hazards*. Luxemburgo: Publications Office of the European Union. Disponible en: <http://www.eea.europa.eu/publications/exploring-nature-based-solutions-2014>.
- Baccini M, Kosatsky T, Analitis A, Anderson HR, D'Ovidio M, Menne B, Michelozzi P, Biggeri A. (2011). *Impact of heat on mortality in 15 European cities: attributable deaths under different weather scenarios*. *J Epidemiol Community Health*, 65(1), 64-70.
- Bradford A., Drake J. (2010). *LID Design Education for Undergraduate and Graduate Engineering Students. Low Impact Development International Conference (LID 2010)*. April 11-14, San Francisco, California, United States.
- Coventry University. *Our Awards and Accreditations*. Disponible en: <https://www.coventry.ac.uk/awards/>. Accedido el 8 de julio de 2018.
- EPM (2018a). Memoria de verificación de los estudios del Grado en Ingeniería Civil de la Universidad de Oviedo. Disponible en: [https://epm.uniovi.es/infacademica/grados/detalle/-/asset\\_publisher/0042/content/grado-en-ingenieria-civil](https://epm.uniovi.es/infacademica/grados/detalle/-/asset_publisher/0042/content/grado-en-ingenieria-civil). Accedido el 8 de julio de 2018.
- EPM (2018b). Memoria de verificación de los estudios del Doble Grado en Ingeniería Civil e Ingeniería de los Recursos Mineros y Energéticos de la Universidad de Oviedo. Disponible en: [https://epm.uniovi.es/infacademica/grados/detalle/-/asset\\_publisher/0042/content/doble-grado-de-ingenieria-civil-e-ingenieria-de-los-recursos-mineros-y-energeticos-1](https://epm.uniovi.es/infacademica/grados/detalle/-/asset_publisher/0042/content/doble-grado-de-ingenieria-civil-e-ingenieria-de-los-recursos-mineros-y-energeticos-1). Accedido el 8 de julio de 2018.
- EPM (2018c). Memoria de verificación de los estudios del Máster Universitario en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos de la Universidad de Oviedo. Disponible en: [https://epm.uniovi.es/infacademica/postgrado/detalle/-/asset\\_publisher/Mrq6/content/master-universitario-en-ingenieria-de-caminos-canales-y-puertos](https://epm.uniovi.es/infacademica/postgrado/detalle/-/asset_publisher/Mrq6/content/master-universitario-en-ingenieria-de-caminos-canales-y-puertos). Accedido el 8 de julio de 2018.
- Jayasuriya, N. *Teaching Sustainable Stormwater Management Using Project Based Learning. Proceedings of the EDU-COM 2008 International Conference. Sustainability in Higher Education: Directions for Change*, Edith Cowan University, Perth Western Australia, 19-21 Noviembre, 2008.
- Kabisch, N., Frantzeskaki, N., Pauleit, S., Naumann, S., Davis, M., Artmann, M., Haase, D., Knapp, S., Korn, H., Stadler, J., Zaunberger, K., and Bonn, A. (2016). *Nature-based solutions to climate change mitigation and adaptation in urban areas: perspectives on indicators, knowledge gaps, barriers, and opportunities for action*. *Ecology and Society*, 21(2):39.
- Lucke, T., Dunne, P.K., Christie, M. (2016). *Activating learning in engineering education using ICT and the concept of 'Flipping the classroom'*. *European Journal of Engineering Education* 42, 45-57.
- Sañudo-Fontaneda L.A., Alvarez-Rabanal F.P., Alonso-Martinez M., Martín-Rodríguez A., del Coz-Díaz, J.J. (2017). Impacto de tribunales externos multidisciplinares en el proceso de enseñanza-aprendizaje en estudios de Máster en Ingeniería. Congreso Universitario de Innovación Educativa en las Enseñanzas Técnicas (CUIEET 2017). 5-8 septiembre, Badajoz, España.
- Sañudo-Fontaneda L.A., Alvarez-Rabanal F.P., Alonso-Martinez M., Martín-Rodríguez A., Hernández-Garrastacho, Z.A., del Coz-Díaz, J.J. (2018). Introduciendo la infraestructura verde y los sistemas de drenaje sostenible en los estudios de grado y postgrado en ingeniería. Congreso Universitario de Innovación Educativa en las Enseñanzas Técnicas (CUIEET 2018). 25-27 junio, Gijón, España.
- Unión Europea (2014). *Construir una infraestructura verde para Europa*. Comisión Europea, Medio Ambiente. ISBN 978-92-79-39996-1.
- University of Oviedo Stormwater Engineering Research Team. Perfil en Twitter del UOStormwater. Disponible en: <https://twitter.com/UOStormwater>. Accedido el 8 de julio de 2018.
- Woods Ballard B., Wilson S., Udale-Clarke H., Illman S., Scott T., Ashley R., Kellagher R. (2015). *The SuDS Manual*. CIRIA: London, UK, 2015. pp. 968. ISBN 979-0-86017-760-9.

## Sistemas urbanos de drenaje sostenible

# Y ahora, ¿qué?

### IGNACIO Andrés- Doménech

Doctor Ingeniero de Caminos,  
Canales y Puertos.  
Profesor titular de Universidad,  
Instituto Universitario de  
Investigación de Ingeniería del  
Agua y Medio Ambiente (IIAMA),  
Universitat Politècnica de València



### SARA Perales- Momparler

Doctora Ingeniera de Caminos,  
Canales y Puertos.  
Consejera delegada de  
Green Blue Management



### JORGE Rodríguez- Hernández

Doctor Ingeniero de Caminos,  
Canales y Puertos.  
Profesor titular de Universidad,  
Grupo de Investigación de Tecnología  
de la Construcción (GITECO),  
Universidad de Cantabria



### JOSÉ Anta

Doctor Ingeniero de Caminos,  
Canales y Puertos.  
Profesor contratado doctor,  
Grupo de Ingeniería del Agua y  
del Medio Ambiente (GEAMA),  
Universidade da Coruña



Según el Diccionario de la Real Academia Española, innovar es “mudar o alterar algo, introduciendo novedades”. ¿Son innovadores los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible? Si atendemos a la definición, la pregunta admite dos respuestas, en principio, incompatibles. Las civilizaciones más antiguas ya aprovechaban el agua de lluvia recogida en los aljibes, hoy recuperados tras una supuesta “innovación”. No obstante, cuando hoy en día esta forma de gestionar la escorrentía urbana, en ocasiones basada en principios hidrológicos básicos y ya usados en el pasado, trata de hacerse hueco como algo “nuevo”, es porque, volviendo a la definición, está tratando de “alterar algo”. En este sentido, no podemos negar el carácter innovador de los SUDS, vistos como una irrupción en el modo de gestión del drenaje urbano consolidado durante décadas. Estas tecnologías basadas en la naturaleza pretenden restituir los mecanismos hidrológicos mermados por el proceso de urbanización para

conseguir una gestión mucho más integrada y eficaz de las aguas de escorrentía urbanas, toda vez que mejoran el paisaje y la naturaleza en la ciudad, introduciendo nuevos espacios de recreo y generando oportunidades para el desarrollo de nuevos ecosistemas en el tejido urbano. Debemos verlos, por tanto, como grandes aliados de los sistemas de saneamiento y drenaje ya consolidados. La combinación de los SUDS, junto con otras instalaciones y procedimientos para la gestión de los sistemas de saneamiento en tiempo de lluvia, permitirá una mejor gestión del agua de lluvia en la ciudad desde todos los puntos de vista, especialmente los relativos a la cantidad y a la calidad de estas aguas y a los impactos que sus desbordamientos generan en el medio receptor. Este es, por tanto, el carácter innovador de los SUDS: promover un cambio de paradigma en la gestión de las escorrentías urbanas.


Como refleja este número monográfico de la Revista de Obras Públicas, España parece haberse subido, inevitablemente, al tren del cambio. Tras algunas tímidas intervenciones en la última década del siglo XX, no es hasta bien entrado el actual cuando los SUDS empiezan a tener presencia en nuestro país. Primero fueron actuaciones aisladas, proyectos piloto, investigaciones académicas... tan necesarias para romper las barreras tecnológicas que dificultaron su implantación inicial. Las reticencias iniciales de hace una o dos décadas sobre aspectos como el rendimiento de las técnicas SUDS en climas secos, su efectividad en la mejora de la calidad del agua o cuestiones relativas a su explotación y mantenimiento parecen hoy haber sido superadas, al menos en parte, por los grandes avances realizados en el plano científico-técnico.

Sin embargo, estos sistemas siguen sin estar plenamente consolidados en la práctica profesional de los técnicos responsables del drenaje urbano. En buena medida, las barreras institucionales son responsables de esta dificultad. La superación de la barrera tecnológica demuestra que existen elementos objetivos para confiar en los SUDS. Pero haber superado esta barrera no es suficiente; es necesario añadir voluntad y determinación, y ciertamente, éstas están condicionadas por la existencia de un contexto normativo y legislativo que aliente a ello y que, en España, todavía no está plenamente desarrollado.

Sin embargo, el futuro es esperanzador. Siguiendo la estela de municipios pequeños como Benaguasil, ya son muchas las grandes ciudades españolas que han apostado por la incorporación de técnicas SUDS al drenaje urbano. Ayuntamientos como el de Madrid, Barcelona, Valencia o Sevilla, no sólo están llevando a cabo actuaciones concretas, incluso en grandes obras icónicas, sino que, en la medida de sus posibilidades, están impulsando decididamente los cambios normativos y reglamentarios necesarios para facilitar e impulsar el cambio de modelo. Por otra parte, el número de casos de intervenciones urbanas, nuevos desarrollos o actuaciones de regeneración en los que se han utilizado técnicas SUDS para resolver el drenaje son, afortunadamente, cada vez más numerosos. Existen ya en España actuaciones en ámbitos residenciales, comerciales, zonas de ocio o, incluso, áreas industriales.

Es necesario un impulso de todos los actores implicados para conseguir avanzar en el cambio de paradigma y alcanzar la fase de consolidación. Las alianzas estratégicas son fundamentales para catalizar el proceso y, en ese marco, el foro de discusión RedSUDS, en el que se presenta este número monográfico de la revista, es una buena muestra de ello. La Jornada RedSUDS celebrada en 2017 contó con la participación de más de 200 profesionales procedentes de administraciones, empresas, universidades, industrias y

centros de investigación, quienes establecieron una panorámica de los SUDS en España e identificaron las prioridades fundamentales a corto y medio plazo. El encuentro concluyó la necesidad de consolidar un grupo de trabajo para impulsar el cambio de paradigma en España, labor que ha sido desarrollada en estos dos últimos años de la mano de la Administración Central y que supondrá la semilla para el desarrollo de un marco normativo común a escala nacional. Desde aquel encuentro se han dado grandes pasos para consolidar un modelo de drenaje que integre los SUDS y buena muestra de ello son estas páginas que dan cuenta de los avances realizados en España en los últimos años en el camino de afianzar el nuevo paradigma. El encuentro RedSUDS de 2019 pone de manifiesto que España tiene voluntad de consolidar este cambio.

El futuro de los SUDS en España está por tanto en nuestras manos. Somos los actores de este proceso los que debemos continuar dinamizándolo hasta conseguir superar los escollos aún existentes. Por una parte, tejer alianzas, de las que RedSUDS es un ejemplo, ayudará a poner en contacto a los actores de la transición para sumar esfuerzos en la misma dirección. Por otra, divulgar el avance del conocimiento en los medios científico-técnicos del sector impulsará, sin duda, el avance. Este ha sido el espíritu de este número monográfico de la Revista de Obras Públicas. 

Estrategia de drenaje, cálculo y modelización de SUDS para el Estadio Wanda Metropolitano, Madrid.



Estudio sobre la incorporación de SUDS a la ciudad de Barcelona.



Colaboración en el anteproyecto, proyecto y asistencia técnica a la dirección de obra en Avda. del Greco, Sevilla.



## Gestión **sostenible** e **integrada** de las **aguas pluviales** en la ciudad

Más de una década de experiencia en drenaje sostenible, empleando sistemas basados en la naturaleza y contribuyendo a la consecución de los objetivos de desarrollo sostenible, nos sitúan como la empresa de referencia en España.

- Fortalecemos la resiliencia de las ciudades ante inundaciones y el cambio climático.
- Gestionamos caudales, volúmenes y calidad de las escorrentías con Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS).
- Creamos y mejoramos el hábitat urbano con espacios multifuncionales que promueven la biodiversidad y el recreo.
- Potenciamos la utilización eficiente de los recursos hídricos y el respeto al medio ambiente.
- Contamos con avanzadas herramientas de diseño y modelación hidrológica-hidráulica.



[www.greenbluemanagement.com](http://www.greenbluemanagement.com)



# 1/6

Este número es indicativo del riesgo de producto, siendo 1/6 indicativo de menor riesgo y 6/6 de mayor riesgo.

Banco Caminos está adscrito al Fondo de Garantía de Depósitos Español. Para depósitos en dinero el importe máximo garantizado es de 100.000 euros por depositante en cada entidad de crédito.

# Fíjate bien: Unas condiciones como estas no se ven fácilmente

## Descubre la Cuenta Transparente

Comisiones

# 0

Retiradas de  
efectivo a débito

# Gratis

en cualquier cajero de  
España a partir de 90€\*

Remuneración

# 0'10% TIN

(0'10% TAE)

para saldos  
a partir de 5.000€

Transferencias  
SEPA

# Gratis

Tarjeta de débito gratis

Pago en cualquier divisa sin comisión

Seguro gratuito por uso fraudulento de la tarjeta

Liquidación mensual de intereses

\*Para retiradas inferiores a 90€ se repercutirá la comisión del propietario del cajero.

Contrátala ya en:



cat@bancocaminos.es



91 310 95 50



Banco  
**Caminos**  
BANCO PRIVADO

bancocaminos.es

