



Received: 19-02-2018
Accepted: 13-03-2018

Rehabilitación hidrológica de barrios a través de sistemas urbanos de drenaje sostenible. Hydrological rehabilitation of neighbourhoods using sustainable urban drainage systems.

Carmen Calama-González, José María Calama-Rodríguez, Cecilia Cañas-Palop

Universidad de Sevilla (ccalama@us.es; jmcalama@us.es; ccanas@us.es)

Resumen— Este artículo es una síntesis del proyecto de investigación realizado en la Universidad de Sevilla para diseñar un modelo de análisis que permita la comprobación de la viabilidad técnica y socioeconómica de los proyectos de rehabilitación hidrológica de barrios urbanos, mediante la construcción de infraestructuras de drenaje sostenibles. El modelo propuesto presenta novedades significativas con respecto a los empleados tradicionalmente en los sistemas urbanos de drenaje sostenible. En primer lugar, se parte de la base de la realización de análisis previos que permitan comprobar la posibilidad de recuperación del agua de lluvia para que, tras sencillos tratamientos para eliminar sus posibles contaminantes, pueda ser usada en labores urbanas del barrio que no requieren agua de calidad. Además, al plantearse como un proyecto cuyo objetivo es “la rehabilitación hidrológica” de un barrio urbano habitado, se contempla medidas clave para conseguir la interacción con los agentes sociales que intervendrán en la gestión local del ciclo del agua, incluyendo medidas sociales y educativas relacionadas con el uso del agua. La finalidad del modelo es aportar los suficientes datos, tanto relacionados con las características del lugar como con la calidad del agua, para poder diseñar unos Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible que sean adecuados.

Palabras clave— Sistemas drenaje sostenible, rehabilitación hidrológica, ciclo del agua, urbanismo sostenible, pavimentos permeables.

Abstract- This paper summarizes a research project conducted in the University of Seville, in order to design an analysis model that allows the assessment of technical and socio-economic viability of hydrological rehabilitation projects in urban neighbourhoods, through the construction of sustainable drainage infrastructures. The model proposed presents significant developments when compared with the ones traditionally used in sustainable urban drainage systems. On the one hand, the possibility of recovering rainwater with simple treatments, eliminating potential contaminants, has been verified previously, testing water for urban purposes with no quality requirements. Moreover, since the main objective of this project is the “hydrological rehabilitation” of an inhabited neighbourhood, the interaction with social agents is a key factor that must be considered for a more appropriate local management of the water cycle, thus social and educational measurements related to the use of water have been included. The aim of this model is to present sufficient data, both referred to the water quality and hydrological conditions of the neighborhood, in order to design adequate Sustainable Drainage Urban Systems.

Index Terms— Sustainable drainage systems, hydrological rehabilitation, water cycle, sustainable urban, permeable pavements.

I. INTRODUCCIÓN

El aumento de las superficies impermeables como consecuencia del crecimiento de los suelos urbanos altera el ciclo hidrológico natural del territorio, causando una serie de problemas en época de lluvia, entre los que podemos destacar:

- Alteración de los niveles freáticos existentes, al reducirse el aporte natural de agua al subsuelo.
- Aumento de la escorrentía superficial con el incremento del caudal de agua a las redes de colectores, sobrepasando sus capacidades.

Además, es frecuente que tanto las aguas residuales como las pluviales, se recojan en una única red. Con estos sistemas, en épocas de lluvia se produce un aumento del volumen de agua contaminada, pues aunque en origen las aguas pluviales no estén contaminadas, al entrar en contacto con las residuales se contaminan, por lo que las centrales de depuración deben tratar un caudal mayor de agua, con el consiguiente consumo energético y aumento de los costes de explotación y emisiones contaminantes.

Para evitar estos problemas, existe la posibilidad de diseñar sistemas separativos de aguas pluviales y fecales. En este sentido algunos proyectos de investigación están enfocados a la rehabilitación de las redes desde su origen en los edificios, como es el caso del Proyecto Aqua-Riba (Prieto-Thomas y Lara García, 2017). No obstante, para el caso de rehabilitaciones este tipo de intervenciones no son fáciles de abordar, salvo como en el proyecto mencionado que propone la rehabilitación de barriadas de viviendas de titularidad pública. Por ello, el proyecto que se presenta propone una actuación a nivel urbano, considerada más viable desde el punto de vista técnico, al depender básicamente de la Administración local. Se parte de la base de iniciativas similares surgidas a nivel internacional que proponen el Diseño Urbano Sensible al Agua (DUSA),

Desarrollos Urbanos de Bajo Impacto (LID) o Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS), como por ejemplo el Proyecto SWITCH (SWITCH, 2016) que realiza un estudio comparado entre la gestión convencional del Ciclo urbano del Agua y la nueva visión de dicha gestión; el proyecto ZENIT (Sostagua, 2010), para la gestión sostenible del agua en entornos urbanos; el proyecto CIRIA (Ciria, 2007), para el diseño de SUDS o el proyecto del Ministerio de Medio Ambiente español sobre la gestión de aguas pluviales (Puertas et al., 2008).

No obstante, la mayor parte de estas actuaciones y técnicas, tiene como objetivo la regulación de los flujos de escorrentía en época de lluvia, en volumen y en caudales máximos. Sin embargo, el presente proyecto de investigación plantea el diseño de SUDS para gestionar el ciclo hidrológico de las aguas pluviales en tiempo seco. La idea parte de la base de recuperar las aguas pluviales y, a través de un sistema de infraestructuras de SUDS (Figura 1), aprovechar las posibilidades de drenaje para conseguir reducir sus contaminantes por medio de infiltración, proporcionando espacios naturales para el almacenamiento del agua recogida en un estado de calidad adecuado para que pueda ser reutilizada en tareas urbanas que no requieran agua de calidad, como el riego de jardines, limpieza de calles y fuentes y estanques ornamentales (ASCE, 2002).

Hemos de señalar que, en la Unión Europea, las Administraciones Locales están incluyendo en los instrumentos del Planeamiento Urbano, medidas necesarias para que en los proyectos de nuevas urbanizaciones se recojan las instalaciones necesarias para utilizar los recursos hídricos alternativos (ANM Madrid, 2006), pero son muy pocos los ejemplos de propuestas para rehabilitar núcleos urbanos consolidados. Por ello, nuestro proyecto puede considerarse pionero por tres razones:

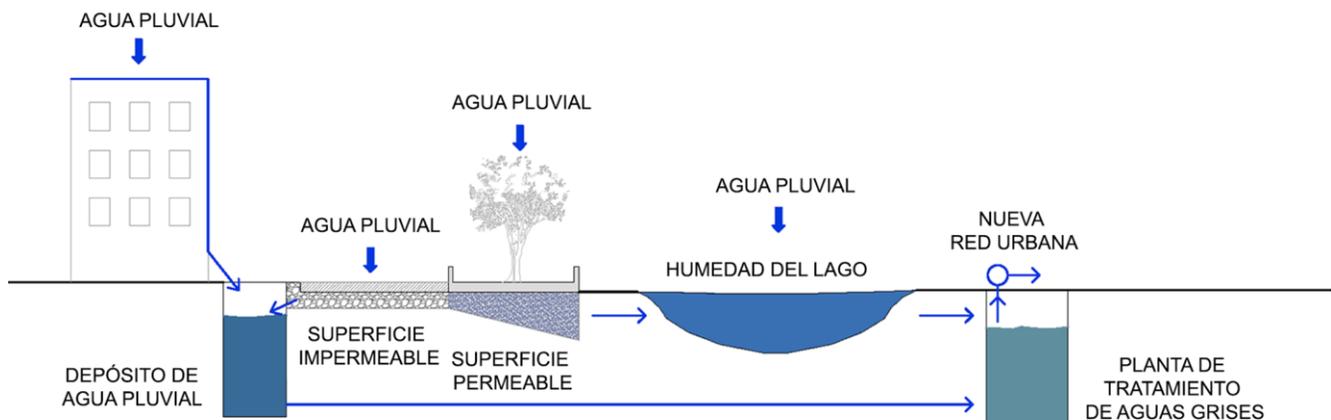


Fig. 1. Esquema de un sistema urbano para recuperación de aguas pluviales.

1. Propone una metodología de trabajo para realizar proyectos de “rehabilitación hidrológica” para barrios urbanos habitados.
2. Se fundamenta en la interacción con los agentes sociales que intervendrán en la gestión local del ciclo del agua.
3. Incluye medidas sociales y educativas relacionadas con el uso del agua.

El concepto de “rehabilitación hidrológica urbana”, se fundamenta en la recogida de las aguas pluviales a través de SUDS, para separarlas de las canalizaciones que recogen las aguas sucias y posibilitar su recuperación y posterior uso. Esto significa, por un lado, que el agua de lluvia pasa a formar parte de un ciclo mucho más acorde con el ciclo natural que tenía el entorno antes de convertirse en urbano y, por otro, que se reduce el consumo actual de agua potable. Si el proyecto de diseño y construcción de los SUDS, se integra en un plan de renovación y revitalización del barrio, además de considerar los aspectos técnicos y económicos para la elección de los sistemas y tecnologías hidráulicas adecuadas al lugar y a los usos previstos para el agua recuperada, se deben analizar criterios que tienen que ver con los aspectos sociales, patrimoniales y culturales, que permitan averiguar qué estrategias innovadoras son las adecuadas para la regeneración económica y social de la unidad urbana.

Por otro lado, al elegir la escala del barrio para la intervención, se puede trabajar sobre una unidad urbana controlable desde un punto de vista urbanístico, lo que posibilita obtener un diagnóstico más preciso para aplicar los sistemas y técnicas de gestión del ciclo del agua de manera más eficiente. Asimismo, si se trata de un barrio habitado, se puede actuar desde una perspectiva cercana a los propios usuarios, incluyendo estrategias de educación ambiental para formar a la población del barrio en el uso racional y responsable.

Por último, al contar con la colaboración de los agentes sociales, se obtiene un diagnóstico más preciso de los problemas y, en consecuencia, un modelo de gestión más eficiente y sostenible. Asimismo, se proyecta partiendo de un conocimiento de las preexistencias y los hitos del barrio, lo que permite incluir acciones de respeto a los signos de identidad cultural local, así como la integración de los elementos paisajísticos y la preservación de las áreas naturales.

II. OBJETIVOS

La investigación propone una metodología de actuación para la rehabilitación hidrológica de un barrio habitado, a partir de la recuperación y reutilización de las aguas pluviales, por medio de la integración de SUDS.

Para poder alcanzar este objetivo, se deben concretar las acciones para el análisis previo de la zona de intervención que permita realizar un diagnóstico para comprobar la viabilidad de la propuesta y sentar las bases para definir adecuadamente estas

acciones. En este sentido, la fase de la investigación que se presenta parte de la propuesta de esta primera etapa de análisis previos (Reyes Vilariño, M. et al, 2015), en la que se han obtenido una serie de datos para el diagnóstico. En concreto, en un primer estrado de la investigación, se ha concluido que se deben obtener los datos siguientes:

- Las condiciones hidrológicas y ambientales del barrio.
- La cantidad de agua que puede ser recogida y almacenada para su uso.
- La evaluación de la calidad de las aguas de escorrentía de lluvia para su reutilización en el entorno urbano de referencia.

A partir de estos datos, se tendrá una base adecuada para seleccionar y diseñar los SUDS más apropiados para el barrio.

Debemos indicar además que, en España, estos proyectos de infraestructuras urbanas sustentados en criterios medioambientales están en proceso de desarrollo (Ver Puertas, 2008), por lo que para acometer intervenciones que implican una inversión económica importante, es conveniente disponer de modelos y herramientas que verifiquen la viabilidad urbanística y socioeconómica de las actuaciones y servir de apoyo para la toma de decisiones. En este aspecto, al ser un “proyecto con base real”, la valoración de los resultados que obtengamos, podrán guiar acciones similares futuras.

III. ANÁLISIS PREVIOS

Como ya se ha indicado, se debe partir de la base de la realización de análisis previos planificados como tareas multidisciplinares con un enfoque holístico, por lo que será necesario incorporar a técnicos de diversas especialidades para garantizar la conservación y sostenibilidad de los recursos hídricos del barrio. Además, en el proceso de análisis, se debe involucrar a la empresa encargada de la gestión de aguas y a los representantes sociales de los usuarios del barrio, con el fin de garantizar la gestión y el buen uso y mantenimiento de los sistemas de infraestructuras. A continuación, se exponen los datos más significativos que deben obtenerse en los estudios previos.

A. Análisis del entorno urbano

Es necesario confeccionar un “mapa” del suelo con datos físicos y medioambientales; en concreto: niveles de la capa freática, permeabilidad, topografía, etc. Ello permitirá seleccionar adecuadamente las zonas de ubicación de los SUDS y las zonas que se consideran inadecuadas o que requieren estudios adicionales.

Es recomendable que el lugar disponga de espacios abiertos (avenidas, espacios verdes o zonas de esparcimiento). Por ejemplo, para llevar a cabo el estudio piloto que se describe, se ha seleccionado un barrio que presenta unas condiciones físicas e hidrológicas adecuadas, ya que dispone de superficie libre suficiente para recoger agua de lluvia que luego pueda ser usada

en las diferentes actividades integradas en el propio barrio. Además, tiene una constitución topografía muy adecuada para que los SUDS puedan transportar el agua recogida por gravedad y al acoger en su cota más baja un parque periurbano de dimensiones apropiadas, permite ubicar en él un espacio verde donde construir un humedal artificial para la retención y almacenamiento del agua captada.

En cuanto a los datos ambientales, al tratarse de un proyecto para la recuperación y utilización de las aguas pluviales, se deben realizar dos tipos de análisis:

- Los impactos medioambientales que pueden causar las infraestructuras.
- Los usos urbanos que pueden contaminar las aguas.

Para paliar el impacto ambiental, los SUDS es conveniente integrar en los espacios públicos o zonas verdes comunitarias, pero de manera que las técnicas de recuperación y de transporte del agua no causen riesgos a las personas ni al medio ambiente. Para ello, nuestro proyecto se ha iniciado con un estudio de los usos de la zona, que permita localizar los puntos adecuados para la toma de muestras del agua, con el fin de realizar los análisis de su posible contaminación y comprobar su aptitud para los usos previstos.

Por último, en lo referente a los factores sociales del barrio, además de la colaboración de los técnicos de la empresa responsable de la gestión del agua, se ha contado con la participación de los representantes sociales del barrio, e incluso se ha logrado implicar a los propios usuarios, ya que estudiantes de un colegio de educación secundaria del barrio, han colaborado en la medición pluviométrica y en la obtención de las muestras de agua para los análisis. Siendo este un paso previo a conseguir la concienciación e implicación de la población en el uso responsable del agua y en la gestión de los sistemas.

B. Análisis de la viabilidad del proyecto

Antes de realizar el proyecto, se han llevado a cabo una serie de estudios previos que han permitido comprobar la viabilidad de su realización. En este aspecto se han realizado estudios que engloban cuatro aspectos sobre los que incidirá el proyecto: legal, urbanístico, social y económico.

En el caso de los aspectos legales, indicar que actualmente en nuestro país, no existe normativa que regule la gestión urbana de las aguas pluviales mediante técnicas de drenaje sostenible, ya que las normas están orientadas a la reutilización de aguas depuradas. En este sentido se ha considerado adecuado plantear el proceso de estudio a partir de la “Guía para el desarrollo de la Normativa Local en la lucha para el cambio climático” y en concreto su Documento 5: “Normativa sobre gestión sostenible del agua” (FEMP, 2009). También se han seguido las recomendaciones de la Directiva Marco del Agua (Directiva 60 CE, 2000), y de la legislación española el RD 1620/2007, de reutilización de aguas depuradas (BOE nº 249,

2007), pues aunque esta norma no ha sido específicamente concebida para el aprovechamiento del agua de lluvia, es un texto legal que incorpora requerimientos de calidad del agua según los usos.

El estudio de estas normas, ha permitido comprobar que es posible utilizar el agua recuperada de la lluvia, con tratamientos sencillos de purificación o filtración. En este sentido, un dato importante para iniciar los estudios previos es concretar los usos previstos a los que se destinará el agua de lluvia recogida. En el caso que se presenta, al colaborar en la investigación personal técnico de la empresa de gestión de aguas de Sevilla (EMASESA), se han incluido los usos y sus necesidades de agua anuales, facilitados por la misma y que se exponen en la Tabla 1.

TABLA I
NECESIDADES ANUALES DE AGUA PARA USOS URBANOS
EMASESA (SEVILLA)

Usos	Necesidades de agua anuales
Riego de jardines	0,3 m ³ /m ²
Riego del parques	0,2 m ³ /m ²
Zonas deportivas:	
Campos de deporte	0,6 m ³ /m ²
Duchas de gimnasios	18,25 m ³ /u.
Piscinas	(según capacidad una vez al año)
Limpieza de zonas urbanas	0,73 m ³ /m ²
Lavado de coches	0,050 m ³ /u.
Usos comerciales:	
Limpieza de locales y cristales	0,15 m ³ /m ² local
Red contra incendios	Min. 120 m ³ por cada 15.000 personas

Para evidenciar que el proyecto es viable desde el punto de vista urbanístico y medioambiental, un dato necesario es comprobar que el agua que se recupere de la lluvia debe ser superior a la necesaria para los usos urbanos previstos. A partir de este dato se podrá diseñar la capacidad del humedal.

En este sentido hay que tener presente que para conservar activas las plantas y que se produzca la reacción aeróbica, es necesario mantener una capa mínima de 60 cm de agua en el humedal (Morató, J., 2006) (Arias y Brix, 2003).

Por último, en el estudio previo se ha realizado también una primera evaluación económica. Hemos de indicar que este tipo de proyectos de rehabilitación suelen ser más elevados económicamente que cuando se realizan en barrios de nueva creación. Por ello, en la propuesta de actuación sobre barrios consolidados, es conveniente incluir en esta evaluación la recuperación de los costes tangibles de la implantación de las

infraestructuras, considerando dos variables económicas tangibles:

- La reducción de los costes en las depuradoras, ya que la implantación de estos sistemas permite que no se altere en los periodos de lluvia el patrón de los contaminantes,
- El ahorro del consumo energético de las centrales de depuración al reducirse los caudales de entrada a las mismas.

Como dato orientativo en este sentido, en el proyecto del barrio de estudio, se ha comprobado que casi un millón de m³ de agua dejarían de circular por la red general. Tomando como referencia los datos de consumo energético y de emisiones de CO₂ facilitados por la empresa suministradora de agua de Sevilla (datos correspondientes a 2015), se tiene que en las tareas de depuración se trataron 111,13 Hm³ de agua, lo que supone:

- Combustión de gas: 6.824.626,00 Nm³ (8.015 T/año de CO₂) procedentes de:
 - Caldera y antorcha: 880.894,00 Nm³
 - Cogeneración: 5.943.732,00 Nm³

Con estos datos, se podría reducir el consumo en 1%, lo que viene a representar:

- Un ahorro en gas de 68.246,00 Nm³
- Una reducción de las emisiones de CO₂ por combustión del gas del orden de 80 T/año.

En nuestra opinión, estos datos no debieran ser analizados exclusivamente en términos de costes económicos, ya que desde el punto de vista medioambiental se obtienen valores cualitativos que pueden ser considerados como beneficios urbanísticos, ambientales y sociales.

IV. DIAGNÓSTICO

A partir de los estudios previos que contemplen las acciones descritas, se estaría en disposición de realizar un diagnóstico de la situación, antes de acometer el proyecto de los SUDS. Se trata de poder determinar cuál es la situación actual y cuáles son las tendencias de dos elementos claves para el diseño de los sistemas superficiales separados del alcantarillado. Para ello es necesario conocer:

- Las condiciones hidrológicas del barrio.
- La caracterización del agua recogida.

A. Condiciones hidrológicas del barrio

Conocer cómo será el comportamiento del agua en la superficie del suelo en los momentos de lluvia es vital para comprobar cuál es el volumen de agua que fluye y el volumen de agua filtrada a las capas inferiores, y así poder calcular la cantidad de agua que puede ser almacenada para su uso.

Cuando los SUDS tienen como propósito la infiltración del agua de la lluvia al terreno, es necesario conocer su permeabilidad para poder calcular el caudal de infiltración. Sin

embargo, en el caso de estudio, el objetivo es recuperar el agua de lluvia, su almacenamiento y uso posterior en labores urbanas que no requieren agua de calidad. En este aspecto, al tratarse de un proyecto cuya finalidad es la recogida de agua de lluvia para usos urbanos, de las condiciones hidrológicas lo que interesa conocer es la superficie de terreno que debe ser tratada con sistemas de drenaje para recoger una cantidad suficiente, en función del consumo previsto, y poder reservarla en los depósitos de retención y el humedal en condiciones para poder servir a las labores urbanas previstas.

Por tanto, no es necesario calcular la permeabilidad que afecta al caudal de agua, sino la cantidad a recoger en los SUDS. Por ello, para el cálculo se puede utilizar la formulación (1) recogida en la “Instrucción 5.2 IC. Drenaje Superficial” del Ministerio de Fomento (FOM/298, 2016):

$$Q = (C \times I_t \times A) / K \quad (1)$$

Donde:

Q: Caudal de diseño en m³/seg.

C: Coeficiente de escorrentía de la superficie drenada.

I_t: Intensidad media de la precipitación en mm/h.

A: Área de la superficie drenada en metros cuadrados.

K: Coeficiente que incluye un incremento del 20% del caudal para tener en cuenta el efecto de las puntas de precipitación (K=3.000.000)

Para las precipitaciones necesitamos datos anuales, por lo que en lugar de las tablas del apartado 5.5.3 Red de evacuación de aguas pluviales, del CTE-HS 5, que realizan el cálculo de intensidad de lluvia, para los sistemas de drenaje lo adecuado es usar los regímenes de lluvia. Por ello, en el proyecto se han tomado los datos referidos a Sevilla, de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET, 2015), que considera una pluviometría media de 534 l/m².

Además, hay que tener en cuenta que, cuando se calcula una red convencional, este dato debería ser modificado, pues debe considerarse una lluvia definida para un periodo de retorno T=10 años. Sin embargo, para un drenaje sostenible sería contraproducente el uso de periodos de retorno elevados, ya que se trata de gestionar un volumen de agua y no de asegurar un buen drenaje superficial en situaciones extraordinarias. Tomar periodos de retorno elevados supondría sobredimensionar los SUDS para no incrementar apenas el volumen gestionado de agua en periodos de tiempo elevados

Esta cantidad de lluvia es la que condiciona el diseño de los sistemas, por ello en el proyecto piloto se ha planteado un hidrograma con tres hipótesis de partida para los periodos de retorno: T=10, T=1 y T=0,1, teniendo en cuenta que el equilibrio se encuentra en igualar el agua caída con el agua infiltrada. Además, el caso de Sevilla es excepcional, ya que aunque se le considera un tipo de clima “mediterráneo”, cuando se habla de precipitaciones existen periodos de lluvia intensa y

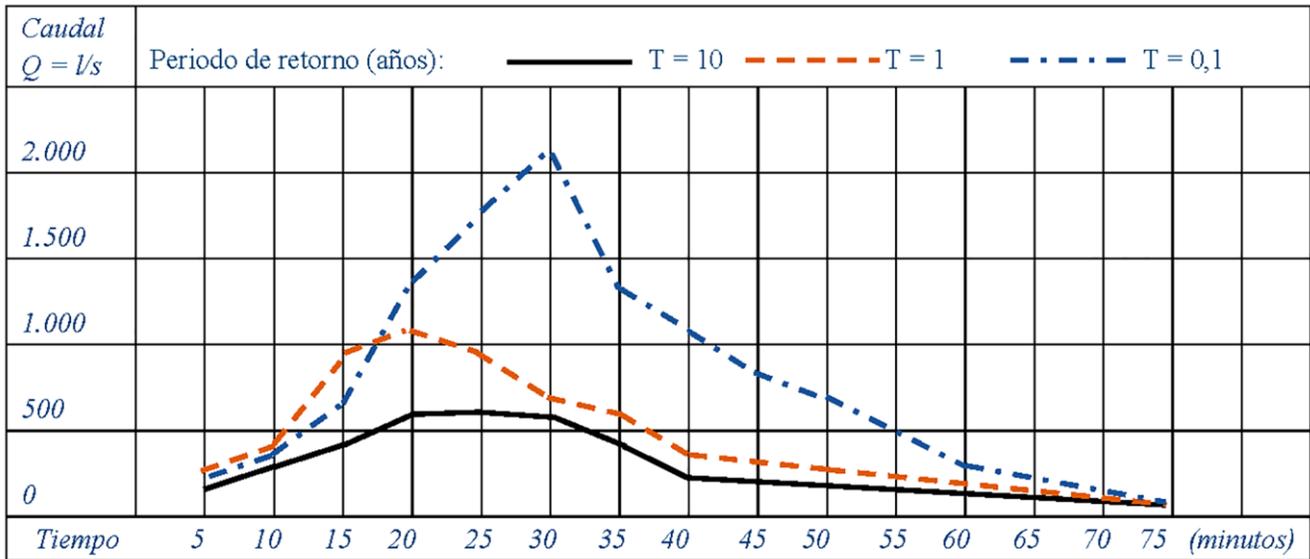


Fig. 2. Hidrogramas de las lluvias de diseño para T=0,1; 1 y 10 años.

épocas de sequía prolongada. Como lo normal es que el caudal de infiltración (Q_i) dado por los SUDS sea mucho menor al caudal generado por la lluvia de diseño (Q_{II}), será necesario prever algunas zonas de almacenamiento para absorber el volumen (V) sobrante dado por esa diferencia de caudales (2):

$$Q_{lluvia} > Q_{infiltración} \neq V_{lluvia} > V_{infiltración} \quad (2)$$

Para calcular la capacidad necesaria de almacenamiento de los SUDS, se ha considerado la fórmula (3):

$$V_0 - V_{lluvia} \times t + Q_{infiltración} \times t = 0 \quad (3)$$

Donde V_0 sería la capacidad de almacenamiento del SUD en condiciones no saturadas.

En los estudios previos realizados, se obtuvieron los hidrogramas, en función de las diferentes lluvias de diseño para cada periodo de retorno, representados en la Figura 2, y como puede apreciarse, cuanto mayor es el caudal dado por la lluvia de diseño, mayor debe ser el volumen de almacenamiento y la superficie de infiltración.

Por ello, para caracterizar la lluvia de diseño, se ha tomado un periodo de retorno T igual a un año, y así obtener la información del agua caída. Estos datos deberán ser modificados a partir de la capacidad de infiltración de los materiales que se utilicen para la construcción de los SUDS, y así poder calcular la superficie expuesta que deben tener en función del volumen de agua que se debe recoger. Como el objetivo es conseguir cubrir la necesidad de agua anual para los servicios urbanos previstos en el barrio, se ha considerado como hipótesis de partida una previsión de un 20% de más de la superficie destinada a los SUDS que se requiere, ya que además de precisar la cantidad de agua para el consumo, es preciso

mantener el caudal suficiente y de reserva de agua en el humedal.

B. Caracterización del agua recogida

Conocer los valores de contaminación del agua recogida es esencial, ya que los sistemas deben seleccionarse en función de su capacidad para la depuración del agua y la eliminación de los contaminantes.

En los análisis previos se han recogido muestras del agua de lluvia utilizando dos sistemas de recolección, uno bajo condiciones controladas (ubicado en un colegio del barrio, con la finalidad de implicar a los jóvenes en la gestión sostenible del agua) y otro en el área urbana, en puntos que han permitido cuantificar la escorrentía superficial, controlar zonas en las que se ubicarán las zanjas de infiltración y el humedal artificial. Para la monitorización, se han usado los modelos de simulación numérica de caudales y contaminación SWMM e Infoworks, que son recomendados por GEAMA-EHS, empresa de referencia en España.

Para la toma de muestras se han construido siete arquetas de recogida de aguas en las que se han incorporado un pluviómetro con registro de datos, un medidor de caudal y de nivel de agua y un recipiente de toma de muestras automático, para posterior análisis de la calidad de agua.

Para que los datos respondan a ciclos completos, se han realizado mediciones en 12 episodios de lluvia y espaciados para incluyan el intervalo de la temporada estival.

Para la caracterización de la contaminación se tomaron tres tipos de muestras:

- Muestras de la contaminación acumulada en la superficie del suelo (sedimentos, materia orgánica, nutrientes, hidrocarburos, elementos patógenos, metales,

pesticidas...) Se tomaron en tiempo seco y en el momento de colocar los instrumentos de medida y control.

- Muestras del agua que llega a las zonas elegidas para depósito: al finalizar la temporada de lluvias, para comparar la contaminación inicial y final.
- Muestras de agua de la lluvia caída sobre el suelo urbano: durante los primeros eventos de precipitación, cuando el agua arrastra los elementos contaminantes y cuando ha lavado las superficies del suelo.

Para cuantificar las características microbiológicas se han empleado los siguientes medios de cultivo:

- PCA (Plate count Agar), para el recuento de mesófilos totales
- Medio cromogénico Enterobacterias Totales/Fecales (por ejemplo: ECC)
- P/A-CLOSTRICULT, para detección de clostridios
- Media Aloa+ demi Fraser para detección de legionella

En los primeros estadios, los instrumentos de captación prácticamente no han detectado contaminantes, mientras que en los puntos situados en el recorrido en el que se acrecienta la escorrentía superficial, se ha registrado un aumento significativo de contaminantes disueltos, especialmente referidos a materia orgánica. En el caso de los nutrientes, no se han detectado cantidades significativas, lo cual es bastante común ya que el agua de la lluvia no entra en contacto con agua residual (Ver CIRIA, 2007). En las tomas de muestras recogidas en las zonas ajardinadas, se han detectado pequeños niveles de elementos inorgánicos; en cambio, al tratarse de un barrio que tiene vías de tráfico secundarias, tampoco se han detectado metales pesados, salvo en algunos pavimentos destinados a aparcamientos de vehículos. En cualquier caso, las cantidades detectadas son prácticamente inapreciables por lo que se ha considerado que pueden ser tratadas por los sistemas de drenaje a instalar.

Como en nuestro país actualmente no hay una norma de referencia para valorar los resultados de los análisis para el agua de lluvia, se han tomado como límites de contaminación del agua los establecidos en el Reglamento Técnico Sanitario del Ministerio de la Presidencia (Ministerio de Presidencia, 2003), ya que, aunque está pensado para las aguas residuales, ofrece valores de referencia.

En lo que sigue reseñamos los datos de referencia, identificando su origen contaminante y que se han servido de base para el diseño de los SUDS, los cuales han sido confeccionados para un entorno urbano habitado.

A) Sólidos en suspensión

Son materias diversas y detectables a simple vista al enturbiar el agua. La mayoría de contaminantes se encuentran asociados a los sedimentos o a partículas finas. Como las zanjas y los pozos drenantes se rellenan de materiales filtrantes granulares o sintéticos, para que se puedan eliminar este tipo de contaminantes sin aportes de sistemas químicos, las cantidades

de sólidos en suspensión (Malgrat, P. *et al*, 2004) admitidas en la escorrentía superficial en el fin del tramo, no deben superar los 400mg/l para sólidos totales y 300 mg/l para sólidos en suspensión. Por ello, el proyecto ha considerado como agua de calidad para usos urbanos si la turbidez del agua medida en el fin del tramo no supera los 200 NTU.

B) Materia orgánica

Como es sabido, la materia orgánica tiene bastante presencia en el agua residual pero no en el agua de lluvia. En las muestras recogidas en la escorrentía por la superficie del suelo urbano, no se han detectado en grandes concentraciones, ni siquiera en los últimos tramos. En los datos de los análisis, debido a los usos de las zonas comerciales, especialmente por la existencia de terrazas de bares y cafeterías, se han encontrado bajas cantidades de proteínas, carbohidratos, aceites y grasas.

En este aspecto, se ha contemplado la posibilidad de recuperar la materia orgánica con el fin de su conversión en compostaje, para lo que se han previsto construir a lo largo de la red del sistema de transporte, pozos con celdas que permitan su recuperación antes de su llegada al humedal para evitar su degradación y la consecuente reducción del oxígeno del agua. Estas celdas se han diseñado con un sistema de filtrado para el compostaje, con el objetivo de recuperar la materia orgánica diluida en el agua (Figura 3). Estos sistemas de filtrado pueden sustituirse y limpiarse para su mantenimiento y con el fin de evitar la proliferación de organismos causantes de enfermedades. De esta forma pensamos que podría conseguirse un puesto de trabajo en el barrio urbano vinculado al mantenimiento y limpieza de estos sistemas.

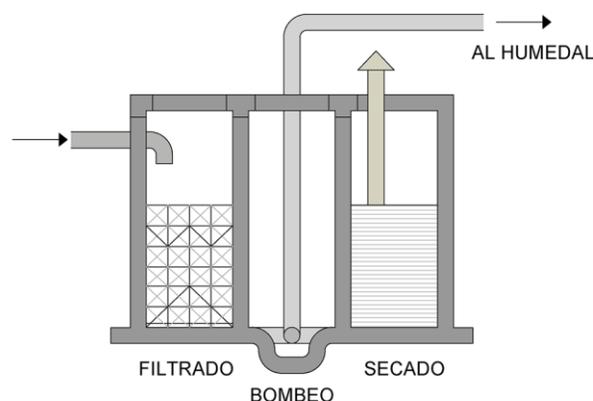


Fig. 3. Pozo de filtrado con recogida de materia orgánica.

La diferencia de las arquetas diseñadas, con las tradicionales, es que mientras que los sistemas de filtración convencional utilizan como medio filtrante un medio poroso formado por material granular (grava, arena, antracita, etc.), estas celdas incorporan filtros de fibras sintéticas de policarbonato o de celulosa. Con este sistema de filtros se pueden retener partículas con un

tamaño superior a 10 mm (partículas de arena, de polvo fino, etc.) y pueden trabajar a unas densidades de flujo de 4 a 8 m³/(m²·h).

Si en posteriores análisis se comprobara que a causa de la calidad del agua se precisase una microfiltración, las membranas pueden ser sustituidas por otras de nylon, polietileno o polipropileno, que llegan a separar partículas que tienen un tamaño de entre 0,1 mm y 10 mm (baterías, polvo de carbón muy fino, amianto, etc.).

Otra ventaja que presenta el incorporar al sistema estas celdas de filtrado es que, al eliminar gran parte de los sólidos en suspensión, no es necesario utilizar para el bombeo del agua bombas con trituradora, siendo adecuadas las bombas convencionales. En cualquier caso, y en previsión de la existencia de sólidos, en el proyecto se ha optado por recomendar el uso de bombas de una potencia mínima de 1.000 W y una intensidad de impulso de al menos 0,02 m³/hora.

Debido a que los suelos se ven afectados por usos urbanos, los análisis han detectado una pequeña contaminación por detergentes y pesticidas procedentes de productos sintéticos y localizados tanto en zonas peatonales como ajardinadas. Para considerar adecuada el agua, se ha comprobado que la contaminación no supera las siguientes cantidades recomendadas por el Reglamento Técnico mencionado:

- Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO). No mayor de 200 mg/l.
- Demanda Química de Oxígeno (DQO). No mayor de 200 mg/l.
- Carbono Orgánico Total (COT). No mayor de 200 mg/l.

C) *Microorganismos y contaminación biológica*

Este tipo de contaminación normalmente es muy frecuente en zonas urbanas, aunque en cantidades muy bajas, ya que suele originarse por excrementos procedentes de aves y animales domésticos. Los problemas surgen si se detectan en las muestras agentes patógenos (bacterias), que son los que pueden transmitir enfermedades y no pueden eliminarse simplemente con los sistemas de filtrado de los SUDS.

La contaminación del agua de lluvia de las zonas urbanas debida a los agentes biológicos suele ser debida a nitratos, nitritos, amonio, etc. Para detectar esta contaminación microbiológica se deberá proceder al recuento de mesofilos totales, legionella, coliformes, clostridium, etc. Aunque lo más común es que esta contaminación sea inapreciable en el agua de lluvia en su contacto con un suelo urbano. En este aspecto el agua analizada de la zona ha dado un nivel de contaminación muy bajo ya que los datos indican que está muy por debajo de la recomendación para este tipo de contaminantes:

Escherichia coli (E. coli): no superior a 1000 U/100 ml.

D) *Nutrientes*

Los nutrientes que contaminan el agua de lluvia en las ciudades, suelen ser derivados del fósforo y nitrógeno y, en consecuencia su localización son las zonas industriales. Por ello, en las zonas urbanas residenciales no suelen encontrarse este tipo de contaminantes. Los datos de los análisis que han sido realizados a guas de escorrentía del final del tramo, no han dado cantidades apreciables en relación con las de referencia: no deben superar, en el caso del Nitrógeno los 30 mg/l y del Fósforo los 8 mg/l. En cualquier caso, este tipo de contaminantes pueden ser eliminados por los sistemas de filtrado que incorporan los sistemas diseñados.

E) *Metales pesados*

Probablemente sean los componentes más tóxicos que podamos encontrar como contaminantes del agua de lluvia, especialmente porque afectan a los microorganismos, las plantas y los animales. En la zona urbana de estudio al ser de uso residencial y comercial y no existir industrias contaminantes, se han detectado en muy pequeñas cantidades en las vías de tráfico rodado y en las zonas de aparcamientos de vehículo, tanto hidrocarburos como óxidos de nitrógeno. En cualquier caso, las cantidades detectadas, prácticamente inapreciables, pueden ser controladas a través de los sistemas de infiltración que incorporan los SUDS. El problema podría darse si se detectan sustancias peligrosas como plomo o dióxido de azufre; en estos casos y desde un punto de vista ecológico, se podrían incorporar a los pozos de filtración sistemas de bioadsorción (Izquierdo Sanchís, 2015) (Butler, D. 2000), o bien plantear un tratamiento por osmosis inversa o electrodiálisis (Caviedes Rubio *et al*, 2015), etc., pero nunca incorporar sistemas químicos para su eliminación, debido al daño que pueden originar en los ecosistemas.

V. ELECCIÓN DE LOS SISTEMAS

La elección de los sistemas a instalar deber partir del análisis de cada barrio urbano, siguiendo los criterios expuestos en el presente artículo. No obstante, la experiencia del proceso metodológico presentado nos permite confirmar algunos principios que pueden aplicarse de manera general a este tipo de proyectos.

En primer lugar, para calcular el caudal de agua de lluvia a recoger y filtrar, no son válidos los procedimientos de cálculo que se usan para los sistemas convencionales, ya que éstos están pensados para encauzar las escorrentías producidas por las aguas de tormenta con el objetivo de una rápida evacuación al medio receptor. Por ello, se deben dimensionar los sistemas partiendo de la escorrentía generada para el percentil correspondiente al 90% de todos los eventos de precipitación. Este límite se corresponde en general con precipitaciones con periodos de retorno entre 1 y 2 años, con lo que está dentro de los parámetros de cálculo admitidos (Bauluz del Río, 2004).

En cuanto a la disposición de los sistemas, se debe dividir el área de actuación en sub-cuencas con estructuras compuestas por sistemas de captación-infiltración, de transporte-infiltración y de almacenamiento. Cada sub-cuenca genera una escorrentía que debe ser captada y conducida a unos depósitos de laminación y bio-retención, en zonas verdes y bajo rasante. Las sub-cuencas se deben comunicar en la fase final en su llegada al humedal.

En el proyecto presentado los resultados de los análisis no han indicado prácticamente cantidades de metales pesados ni de nutrientes, por lo que se ha considerado un grado leve de contaminación del agua de escorrentía superficial, por lo que los sistemas propuestos no requieren técnicas de tratamiento complejas. En este sentido tanto en las zanjas como en los pozos diseñados, se han incorporado exclusivamente cámaras de sedimentación y filtración a base de áridos. En cambio, se ha considerado adecuado incorporar en los depósitos de retención sistemas que posibiliten la biodegradación o absorción de partículas (MMA, 2008).

De igual manera, los datos obtenidos en la toma de muestras de los análisis, no han detectado retención de contaminantes al

entrar en contacto la lluvia con las partículas del suelo. Por ello, no se ha aconsejado incorporar a los sistemas de recogida y transporte del agua, filtros de “adsorción” de partículas, ya que se trata de un procedimiento algo más complejo para ser usado en zonas urbanas, ya que los adsorbentes usan elementos como el carbón activado para eliminar los contaminantes orgánicos. Con este tipo de adsorbente se atrae también la materia orgánica disuelta (mucho de la cual es inocua).

Partiendo de estos principios, el diseño propuesto para el barrio a partir de la investigación llevada a cabo, básicamente consiste en los sistemas que definimos a continuación.

A. Sistemas para captación e infiltración del agua en el inicio del recorrido

Para la captación y filtrado en origen se ha recomendado la construcción de suelos permeables. En las zonas peatonales y de carriles para bicicletas, se consideran adecuados los pavimentos drenantes, incorporándoles un firme rígido y una capa de 20 cm de material sintético poroso para permitir la filtración del agua; para las zonas de aparcamiento de vehículos se han considerados adecuados los pavimentos flexibles

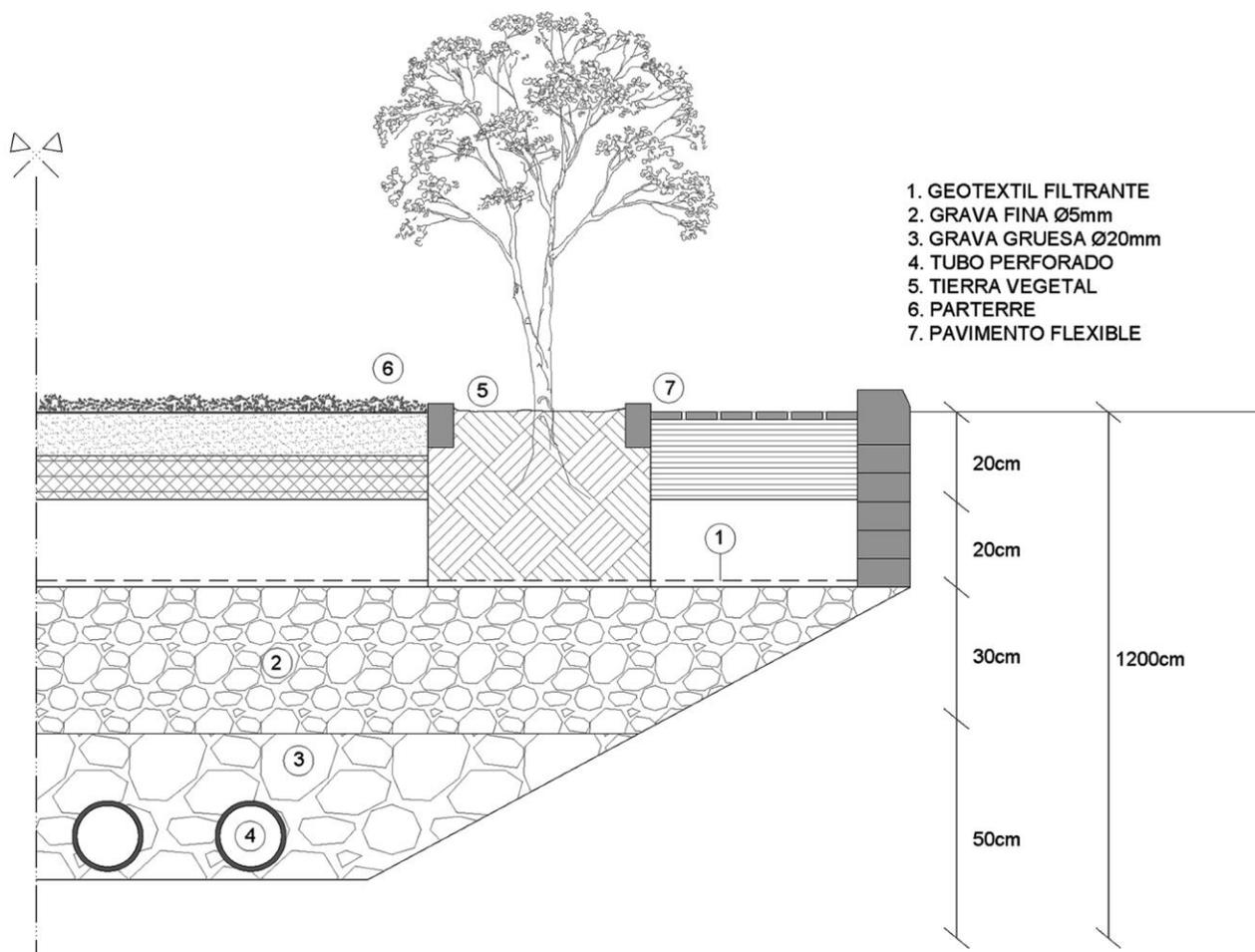


Fig 4. Pavimentos drenantes y de filtrado adecuados para paseos y bulevares.

formados por piezas prefabricadas y de los cuales hay variedad en el mercado. En cambio, para las zonas de paseo parecen más adecuadas las superficies vegetales, al existir un gran boulevard y zonas libres en el barrio, lo que permitirá aprovechar la capacidad de captación de agua de lluvia de estas superficies a la vez que se consigue una bio-filtración natural (Figura 4).

En los episodios de recogida de agua durante los periodos de toma de datos, se han recogido en la zona cantidades muy superiores a la intensidad de lluvia máxima prevista por el CTE-HS 5. Por ello, para garantizar la evacuación se ha estimado adecuado que la capa superficial de estos sistemas tenga una permeabilidad del orden de 120 a 320 litros/m² y minuto. Bajo esta capa, se incorpora a los sistemas una lámina geotextil con el fin de obtener una filtración que posibilite que los contaminantes transportados por los sedimentos puedan ser eliminados. El diseño de estas zanjas incluye, además, la colocación de tres capas: una base granular de árido de 5 mm de diámetro y 25 cm de espesor, una sub-base 25 mm de diámetro y 40 cm de espesor, y una última capa con árido de 40 mm de diámetro y de altura variable, que cubre a un tubo dren que va recogiendo el agua y comunica con las zanjas longitudinales a lo largo de la calzada, para transportar el agua recogida a los sistemas de almacenaje.

En las zonas donde se vaya a plantar arbolado, el proyecto recomienda disponer un suelo estructural para que actúe como suelo poroso, conformado con una mezcla de grava triturada (80%) y arcilla (20%) con una pequeña cantidad de hidrogel para evitar que la arcilla y la grava se separen durante el proceso de mezcla y colocación. Este tipo de suelo favorece el

crecimiento de los árboles y es muy utilizado en zonas donde el árbol dispone de poco espacio para enraizar. En las zonas que no lleven arbolado solamente se dispondrá una capa de suelo granular con alta porosidad bajo la tierra vegetal.

B. Sistemas para captación y transporte del agua en el recorrido urbano.

Los sistemas de captación y transporte tienen una función doble: recoger el agua de la lluvia y transportarla hacia las zonas de retención. Como el barrio estudiado posee una pendiente media de un 2% hacia el humedal, para estas zonas se han recomendado zanjas filtrantes (Figura 5) y cunetas verdes, que puedan tratar localmente el agua, con sistemas similares a los expuestos anteriormente. Además, en el trazado de estas zanjas y en las zonas localizadas en el proyecto, se construirán los pozos filtrantes con las cámaras de recogida de materia orgánica.

C. Sistemas de retención y almacenamiento.

Para este caso, dadas las características hidrológicas del barrio se han recomendado dos tipos de depósitos:

- Depósitos de detención enterrados con sistemas de filtración, que recogen el agua en zonas intermedias.
- Humedales artificiales, con sistema de bio-filtración, para almacenamiento de agua a cielo abierto.

Para los depósitos de retención se han recomendado los que incorporan sistema de filtración por “biodegradación”, ya que están en la línea de la bio-sostenibilidad (Castro, D, *et al*, 2005), y son bastante efectivos para zonas urbanas donde las cargas contaminantes detectadas no sean elevadas. Para su

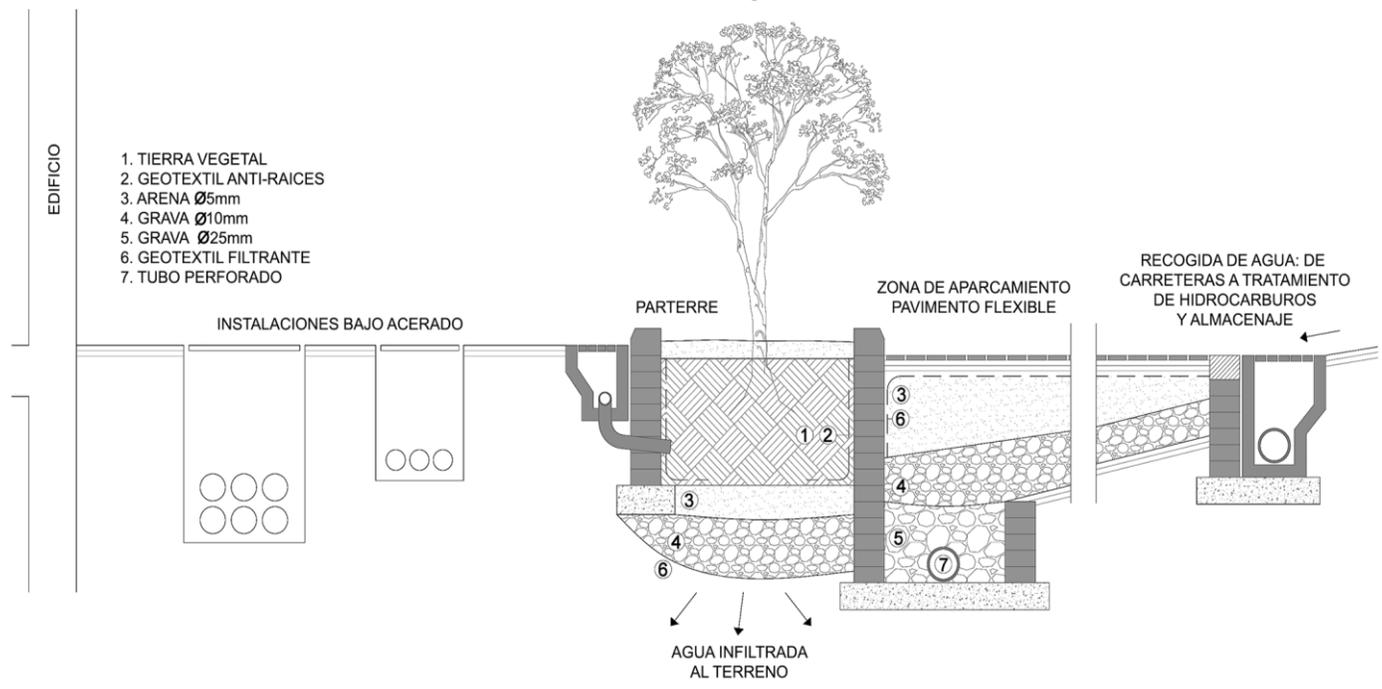


Fig 5. Zanjas filtrantes diseñadas para las calles con parterres y vegetación.

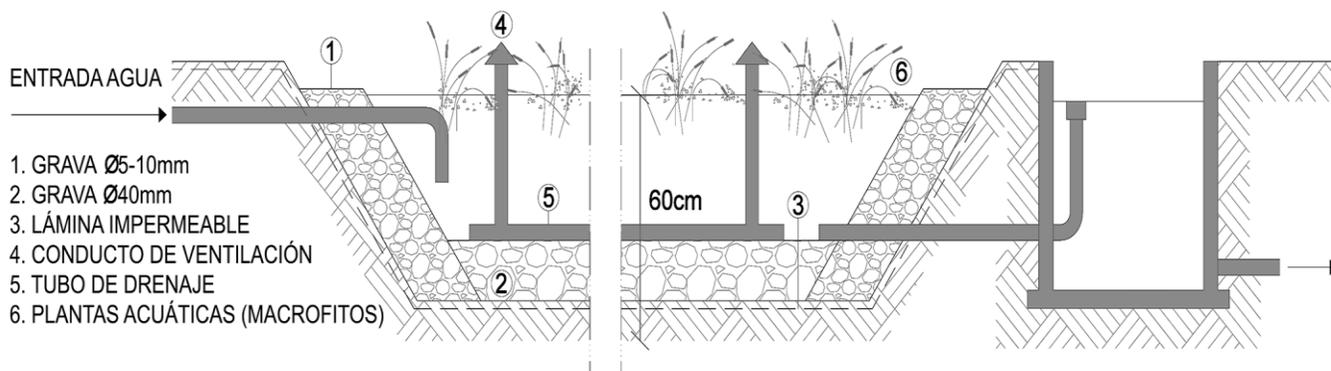


Fig 6. Diseño tipo de un humedal artificial urbano.

cálculo se ha optado por seguir el procedimiento planteado por la empresa Filtec (www.depuradoras.es, 2017), que utiliza no solo datos de recogida mínima y máxima de agua, pero que además incorpora los datos de frecuencia, lo cual es apropiado para el caso de Sevilla, ciudad en la que en época estival pueden pasar 150 días sin precipitaciones.

Y en lo referente al humedal artificial para el almacenamiento del agua a cielo abierto, se ha optado por un sistema Aquaberri (Acuaberri, 2016), que al sistema vegetal de plantas naturales (Figura 6) incorpora también un tratamiento biológico que degrade los contaminantes. En el caso de humedal del proyecto, dado que se ubicaría en la zona baja del barrio, se ha optado por un diseño de flujo sub-superficial, ya que mejora la eliminación de nutrientes nitrogenados que

puedan tener las aguas recogidas, al hacer circular el agua bajo condiciones aerobias y anaerobias respectivamente, y favorecer los procesos de nitrificación-desnitrificación que llevan a cabo los microorganismos. Para el cálculo de los rendimientos en la reducción de contaminantes se han utilizado los datos que facilita la empresa mencionada y que exponemos en la Tabla 2.

TABLA II
RENDIMIENTOS CON EL EMPLEO DE HUMEDALES
ARTIFICIALES DE FLUJO SUB-SUPERFICIAL
(FUENTE: AQUABERRI S.L. 2013).

Parámetro	Efluencia (mg/l)	Reducción (%)
Sólidos en suspensión	13 a 25	90 a 95
BOD5 (mg/l)	15 a 30	85 a 95
DQO (mg/l)	60 a 120	80 a 90
N-NH4+ (mg/l)	10 a 20	20 a 60
Total N	15 a 40	20 a 60
Total P	7 a 8	20 a 30
Coliformes (UFC/100ml)	10e5-10e6	1 a 2 unidades log

Por último, al tratarse de un proyecto de rehabilitación urbana integrado en un plan de revitalización del barrio, se ha incorporado un programa de gestión y mantenimiento de los

sistemas, que pueda garantizar la eficacia de los mismos. Este programa se ha planteado sobre la base de la participación de la ciudadanía en la gestión del ciclo del agua, para evitar costes excesivos e incluir valores añadidos como la incorporación al barrio de espacios naturales. Por ello, la propuesta de actuación del proyecto incluye:

- Un programa de limpieza de calles del barrio para evitar la contaminación de los suelos.
- Un control de la contaminación de la escorrentía, en las zonas de uso comercial como bares que disponen terrazas-veladores en las calles.
- Un programa de educación pública.
- Un programa de gestión de residuos.

Un programa de control para verificar si se produce erosión del suelo.

VI. CONCLUSIONES

En primer lugar, se ha comprobado cómo el creciente interés que se ha generado por el estudio del ciclo del agua en las zonas urbanas está favoreciendo el uso de los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS), no solo en las estrategias de planeamiento urbano, sino también con las posibilidades de realizar “rehabilitación hidrológica” de barrios consolidados.

En el proyecto presentado se concluye la eficacia en el proceso de desarrollo de delimitar un barrio urbano para la realización de un proyecto de “rehabilitación hidrológica”. Se ha comprobado que presenta como ventajas el que se trata de una unidad urbana con un tamaño controlable desde el punto de vista técnico y de gestión del agua, por lo que se pueden plantear unos objetivos viables y proponer criterios de intervención enfocados hacia el hábitat urbano concreto. La suma de varios proyectos en este tipo de unidades urbanas, iría conformando una ciudad ecológica y sostenible.

Lo ideal en este tipo de actuaciones, sería proponer las intervenciones directamente en los procesos de planeamiento y crecimiento de las ciudades, sin embargo, en ciudades como Sevilla donde prácticamente se ha agotado el suelo urbanizable,

las intervenciones deben ser de rehabilitación de barrios. Este planteamiento conlleva inversiones más elevadas. No obstante, el momento actual, en el que los ciudadanos demandan estilos de vida más saludables, pueden ser incluidos como valores del proyecto aspectos intangibles como son la sostenibilidad y la eco-eficiencia.

Si se considera la gestión del agua como uno de los principales objetivos medioambientales, otra de las ventajas que presenta el actuar en un barrio consolidado con un proyecto de rehabilitación urbana que integre los, es que se puede plantear integrado en un plan de revitalización urbana del mismo, ya que se pueden definir estrategias que posibiliten la regeneración económica, social y cultural del barrio. Por esta razón, el enfoque propuesto para el proyecto presentado, que tiene su base en la recuperación del agua de lluvia para su reutilización posterior utilizando SUDS, se muestra en esta línea estratégica sostenible válida, lo que abre la puerta para su estudio en otros núcleos urbanos similares, ya que, además de reducir el consumo de agua potable, posibilita una gestión del agua de lluvia más acorde con su ciclo natural.

También se ha podido constatar que al plantear la intervención en un barrio habitado se obtienen dos ventajas: por un lado, se puede trabajar de manera conjunta con los agentes sociales, ya que para la conservación y reutilización de las aguas pluviales es necesario contar con la colaboración de los usuarios, que son los que deben modificar los hábitos hacia un uso más racional y responsable del agua; y por otro lado, al proyectar con un conocimiento de las preexistencias, es posible incluir acciones de respeto a los signos de identidad cultural local.

Se ha demostrado que para llevar a cabo un proyecto de rehabilitación hidrológica, es necesario realizar estudios previos que permitan conocer las características físicas, hidrológicas y medioambientales del barrio, así como la caracterización del agua de lluvia que se recogerá. Esta documentación, que es necesaria para poder seleccionar los sistemas urbanos de drenaje más adecuados al lugar, permitirá confeccionar un dossier que puede ser presentado a la ciudadanía como base para la realización de programas de educación ambiental, facilitando que los propios usuarios se impliquen en el proceso de transformación medioambiental de su hábitat y se pueda conseguir la necesaria modificación de los hábitos de consumo.

En cuanto al diseño de los diferentes sistemas, no parece adecuado tipificar las soluciones, ya que estas deben sustentarse en los estudios previos: análisis urbano del barrio, condiciones hidrológicas y caracterización del agua recogida. No obstante, en la propuesta del presente artículo se han expuesto las líneas de desarrollo y los criterios del proceso de selección de los mismos, mostrándose como una guía técnica válida con carácter general.

Por último, se debe tener presente que al estar en nuestro país este tipo de intervenciones aún en fase de desarrollo, y puesto que se trata de proyectos complejos en los que interactúan factores medioambientales, económicos y sociales, es pertinente aportar experiencias, especialmente de los procesos de análisis y diagnóstico, que incluyan indicadores que permitan comprobar la viabilidad del proyecto y servir de apoyo para la toma de decisiones; así como modelos y herramientas para implementar estos nuevos procesos de gestión del agua en los que es necesario incorporar experiencias en las que participen los agentes sociales y los propios usuarios implicados.

REFERENCIAS

- Agencia Española de Meteorología (Aemet). Ministerio de Agricultura, alimentación y medio Ambiente del Gobierno de España.
- Aquaberry (2016), Tecnologías naturales de depuración y tratamiento de aguas: <http://aquaberry.com/Dispositivos/Humedales-Artificiales/>
- Arias C., Brix H. (2003). Humedales Artificiales para el Tratamiento de Aguas Residuales. Ciencia e Ingeniería Neogranadina 13. 17-24.
- ASCE.EPA (2002) Urban Stormwater BMP performance monitoring. America Society of Civil Engineering, U.S. Environmental Protection Agency. US-EPA/821-B-02-001.
- Ayuntamiento de Madrid (2006). ANM 2006/50 Ordenanza de Gestión y Uso Eficiente del Agua en la ciudad de Madrid. Boletín Oficial del Ayuntamiento de Madrid, nº 5709 p. 2410-2443.
- Bauluz del Río, Gonzalo (2004): Guía de Buenas Prácticas de Planeamiento Urbanístico Sostenible. Consejería de Medio Ambiente de Castilla La Mancha.
- Butler D., Davies, J.W. (2000). Urban Drainage, pp. 489 London: E&FN SPON.
- Castro, D.; Rodríguez, J. y Ballester, F. (2005): Sistemas urbanos de drenaje sostenible. Interciencia, pp 255-260, Revista de ciencia y tecnología de América, 30 (5).
- Caviedes Rubio, D. I., et all, Treatments for Removal of Heavy Metals Commonly Found in Industrial Wastewater. A Review. Revista de Ingeniería y Región, 2015, 13 (1) 73-90. ISSN 1657-6985, e-ISSN 2216-1325.
- CIRIA (2007) Sustainable Urban Drainage Systems. Design Manual. Construction Industry Research and Information Association. Londres. ISBN 978-0-86017-697-8 Páginas 4-24.

- Federación Española de Municipios y Provincias (FEMP) y Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (2009): Guía para el desarrollo de la Normativa Local en la lucha para el cambio climático. Documento 5. Normativa sobre gestión sostenible del agua.
- Izquierdo Sanchís, M. (2015) Eliminación del metales pesados en aguas mediante bioadsorción. Evaluación de materiales y modelación del proceso. Tesis doctoral, Depósito legal: V-3434-2011 I.S.B.N.: 978-84-370-7981-3. Universidad de Valencia, Servicio de Publicaciones, Valencia.
- Malgrat, P., Verdejo, J.M., Vilalta, A. (2004) Los depósitos de retención de aguas pluviales de Barcelona, pp. 13-17. Tecno Ambiente 144.
- Ministerio de Fomento (2016). Orden FOM/298/2016, por la que se aprueba la norma 5.2 - IC Drenaje superficial de la Instrucción de Carreteras.
- Ministerio de la Presidencia (2003). R.D. 140/2003 por el que se establecen los criterios sanitarios de calidad del agua para el consumo humano. Boletín Oficial del Estado, nº 45, España.
- Ministerio de la Presidencia (2007). R.D. 1620/2007 por el que se establece el régimen jurídico de la reutilización de las aguas depuradas. Boletín Oficial del Estado, nº 249, España.
- Ministerio de Medio Ambiente (2008). Gestión de las aguas pluviales. Implicaciones en el diseño de los sistemas de saneamiento y drenaje urbano. pp 144.
- Morató J., Subirana A., Gris A., Carneiro A., Pastor R. (2006). Tecnologías Sostenibles para la Potabilización y el Tratamiento de Aguas Residuales. Revista Lasallista de Investigación 01. 19-29
- Parlamento Europeo y Consejo (2000). Directiva 2000/60/CE por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas. Diario Oficial de las Comunidades Europeas.
- Prieto-Thomas, A. y Lara García, A. (2017). Proyecto Aqua-Riba: Sistemas de gestión sostenible del Ciclo Urbano del Agua en la rehabilitación integral de barriadas en Andalucía. Libro de Actas del 3er Congreso Internacional de Construcción Sostenible y Soluciones Eco-Eficientes. E.T.S. Arquitectura -Universidad de Sevilla.
- Puertas, J., Suárez, J. y Anta, J. (2008). Gestión de las aguas pluviales. Implicaciones en el diseño de los sistemas de saneamiento y drenaje urbano. Monografías CEDEX. Centro de Publicaciones Secretaria General del Estado. M-98.
- Reyes Vilariño, M., Calama-Rodríguez, J.M.; Martín del Río, J.J. (2015, 25-27 mayo): Integration of sustainable urban drainage systems into the design of neighbourhoods as a water rehabilitation action. En Proceedings of the II International congress on sustainable construction and eco-efficient solutions (pp. 1195-1206). Sevilla
- SOSTAGUA (2010). Proyecto Zenit. Analysis of rainwater quality: Towards Sustainable Rainwater Management in Urban Environments.
- SWITCH (2006-2011) Gestión Integral del Agua Urbana para la Ciudad del Futuro. Proyecto perteneciente al 6º Programa Marco de la UE. <http://www.switchurbanwater.eu>. (Acceso: Dic 2013)
- www.depuradoras.es (2017)



Reconocimiento – NoComercial (by-nc): Se permite la generación de obras derivadas siempre que no se haga un uso comercial. Tampoco se puede utilizar la obra original con finalidades comerciales.