

INTEGRACIÓN DE LOS SISTEMAS URBANOS DE DRENAJE SOSTENIBLE COMO ACCIÓN DE REHABILITACIÓN HIDROLÓGICA EN BARRIOS

¹Reyes Vilariño, Marta; ¹Calama Rodríguez, José María; ¹Martín del Río, Juan Jesús
¹Construcciones Arquitectónicas II. Universidad de Sevilla
Avda. Reina Mercedes, 4.A. 41008 Sevilla (España)
e-mail: marreyvil@gmail.com; jmcalama@us.es

RESUMEN

El diseño de sistemas urbanos que permitan introducir técnicas de recuperación y drenaje de las aguas pluviales, representa un nuevo camino en el desarrollo de la planificación urbana con criterios sostenibles, ya que sus principales objetivos son: optimizar en las ciudades el uso del agua como recurso, minimizar los impactos sobre el ciclo natural del agua y proteger los ecosistemas que de él dependen.

Nuestra propuesta de actuación se sustenta en lo que viene denominándose “rehabilitación hidrológica urbana sostenible”, planteando un modelo de actuación que puede ser aplicado a la rehabilitación de barrios o unidades urbanas, a partir de un nuevo diseño de los elementos urbanos.

En la presente comunicación proponemos un modelo de análisis de la zona urbana de intervención, para poder realizar el diagnóstico hidrológico y elaborar el plan de rehabilitación hidrológica. Estos datos serán la base para seleccionar los sistemas que nos van a permitir caracterizar el agua de lluvia que se recogerá en la unidad urbana de estudio: tanto la procedente de las cubiertas de los edificios como la de los viales y espacios libres urbanos. Con esta información podremos seleccionar los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) más apropiados al área urbana de estudio a fin de poder realizar un proyecto de urbanización que permitirá la rehabilitación hidrológica del barrio o el área urbana con criterios sostenibles.

Cabe destacar que al elegir una unidad urbana o barrio como base para nuestra propuesta de actuación, además de facilitarnos el análisis de los criterios sostenibles con mayor detalle para la concreción del proyecto, va a permitirnos proponer acciones que potencien la integración de los elementos sociales y de identidad cultural del barrio. En este aspecto, concluimos la comunicación con la realización de un proyecto de rehabilitación hidrológica para un área seleccionada en el Barrio de los Bermejales de Sevilla, como paradigma piloto.

Keywords: sistemas urbanos drenaje sostenible; rehabilitación hidrológica; ciclo urbano del agua.

1.- Introducción

1.1.- Los sistemas urbanos de drenaje sostenible

Uno de los problemas derivados del crecimiento de las ciudades, es el aumento de las superficies impermeables que alteran el ciclo hidrológico natural del territorio urbanizado, causando una serie de problemas, entre los que podemos destacar:

- Una reducción del aporte natural del agua al subsuelo alterando el nivel freático y reduciendo el volumen de agua pura.
- Un aumento de la escorrentía superficial que genera grandes caudales en época de lluvia y provoca brutales inundaciones.
- El aporte de un mayor caudal de agua a las redes de colectores, sumando volúmenes de agua que sobrepasan las capacidades de los colectores principales, con el consiguiente coste por la necesidad de nuevas infraestructuras y problemas derivados en la red.
- El aumento del agua contaminada, ya que cuando el agua de lluvia, en origen no contaminada, se recoge en un sistema de saneamiento único, se contamina al entrar en contacto con las aguas residuales, dando como resultado que las centrales de depuración tengan que tratar un caudal mayor de agua, con el consiguiente consumo energético. Otra opción es que estas aguas, al ser en su mayoría pluviales, sean conducidas a Estaciones de Bombeo de Aguas Pluviales (EBAP) y devueltas a los cauces naturales con un gran nivel de contaminación.

Estas cuestiones plantean la necesidad de afrontar la gestión de las aguas pluviales desde una perspectiva diferente a la convencional, introduciendo criterios medioambientales y sostenibles. En este sentido, los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS), representan un nuevo camino en el desarrollo de las infraestructuras urbanas ya que controlan la escorrentía y permiten introducir técnicas de drenaje y almacenamiento de las aguas pluviales [1].

Aunque en España estas estrategias para la gestión de las aguas pluviales han sido incluidas en algunas Comunidades Autónomas, como es el caso de las Instrucciones Técnicas de Obras Hidráulicas [2], su implantación no está muy extendida. No obstante, existe ya una amplia trayectoria de realizaciones y explotación de estas técnicas en el resto de Europa y EE.UU. [3], aunque la mayor parte de las actuaciones realizadas se han planteado con el objetivo de regular los flujos de escorrentía en época de lluvia, tanto en volumen como en caudales máximos.

Sin embargo, en nuestro proyecto nos hemos propuesto analizar en qué medida estos sistemas permiten también gestionar el ciclo hidrológico de las aguas pluviales en tiempo seco. La idea parte de la base de poder almacenar y mantener el agua de la lluvia en un estado de calidad adecuado para que pueda ser reutilizada en algunos usos urbanos, que no requieren la calidad de agua potable, como: el riego de jardines, baldeo de calles o su uso en fuentes y estanques ornamentales. El agua que no sea aprovechada para su utilización, libre de contaminación y con flujos controlados, se puede devolver al medio natural o se conduce hacia el subsuelo para la recarga del freático.

1.2.- La rehabilitación hidrológica urbana en barrios consolidados

Actualmente, en nuestro país, las administraciones locales están incluyendo en los instrumentos del planeamiento de desarrollo, las medidas necesarias para que en los proyectos de urbanización se recojan las instalaciones necesarias para utilizar los recursos hídricos alternativos [4].

Sin embargo, no hay muchos ejemplos de propuestas para intervenir en núcleos urbanos consolidados [5]. Por ello, nuestro proyecto presenta dos aportaciones de interés:

- Se trata de un proyecto de “rehabilitación hidrológica urbana”

- Se elige para la intervención un barrio consolidado

En primer lugar, el proyecto está enfocado hacia el concepto de “rehabilitación hidrológica urbana” considerado como el conjunto de actuaciones que se realizan sobre la ciudad, con el objetivo de mejorar su comportamiento hidrológico, a partir de la gestión sostenible del agua de lluvia. Esto significa que el proyecto de rehabilitación de una unidad urbana concreta, se puede integrar en un plan global de revitalización de dicha unidad, por lo que, 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, es necesario analizar otros 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.

En segundo lugar, al plantear la intervención en un barrio consolidado, se obtienen dos ventajas:

- Por un lado, la escala de barrio, como unidad controlable desde un punto de vista urbanístico, posibilita la obtención de un diagnóstico más preciso para aplicar los sistemas y las técnicas de gestión del ciclo del agua de manera más eficiente. Haciendo posible el marcar los objetivos y los criterios de intervención enfocados hacia el hábitat urbano en que se desean implantar, facilitando que la gestión del barrio se aproxime al modelo sostenible.
- Por otro lado, como la eficiencia en la gestión del ciclo del agua se fundamenta en la optimización de su uso, al actuar en un barrio consolidado se puede plantear un proyecto desde una perspectiva cercana a los propios usuarios, así como formar a la población en el uso racional y responsable. Una intervención en un barrio consolidado, permite al proyectista trabajar con los representantes sociales del barrio. Ya que no debemos olvidar que la conservación y reutilización de las aguas pluviales, implican necesariamente una relación con la comunidad, tanto en el conocimiento del funcionamiento de los ciclos hidrológicos como en la responsabilidad de su uso. Y estas relaciones no se producen de manera espontánea, sino que se deben plantear una serie de estrategias que incluyan la educación ambiental y el fomento de la participación, ya que se van a ver afectados los hábitos de consumo. Además, el conocimiento de las preexistencias y los hitos del barrio, posibilitarán incluir en el proyecto 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.

2.- Objetivos

Como hemos indicado, el trabajo de investigación que hemos iniciado pretende concretar las bases para integrar los SUDS en un barrio urbano consolidado. En concreto, se ha seleccionado el barrio de los Bermejales de Sevilla, porque además de contar con una serie de viales y espacios públicos donde pueden implantarse los SUDS, también incorpora un parque periurbano con una extensión de algo más de 12.000 m², una escuela de Golf y en él se ubican las instalaciones deportivas de la Universidad de Sevilla; todas ellas potenciales infraestructuras en las que será factible la integración de sistemas urbanos que posibiliten la recuperación del agua de lluvia y su tratamiento y almacenamiento, para su posterior reutilización en usos urbanos que no requieran agua de calidad.

Y dado que actualmente en nuestro país los SUDS están en proceso de desarrollo [6], para acometer intervenciones de transformación hidrológica en las ciudades, es necesario proporcionar modelos y herramientas para implementar estos nuevos procesos de gestión del agua en los que es necesario incorporar métodos para la

participación de los agentes sociales implicados. Por ello, es oportuno aportar experiencias, especialmente de los procesos de análisis, ya que se trata de proyectos complejos en los que interactúan medioambientales, económicos y sociales. Siendo recomendable el análisis de indicadores que permitan comprobar la viabilidad del proyecto y servir de apoyo para la toma de decisiones.

En este sentido, dentro del contexto del proyecto de investigación, la presente comunicación tiene por objeto exponer una metodología a seguir en el proceso de análisis previo y de toma de datos, para la realización del proyecto y comprobar que la propuesta de acción es viable. Sin olvidar que, cuando se trata de rehabilitación hidrológica de una zona urbana, cualquier proceso metodológico debe estar planteado a partir de un análisis muy concreto del lugar, si se quiere conseguir una eficiencia en los sistemas, ya que un proyecto de rehabilitación urbana, por lo general, requiere grandes inversiones económicas.

Por ello, parece oportuno plantear un método de acción que incluya aquellos criterios básicos que deben ser objeto de la fase de análisis previo, partiendo de la base de que la necesaria participación ciudadana está planteada como principio básico de las actuaciones en Planeamiento Urbano [7] y, en consecuencia, es necesaria la implicación directa de los representantes sociales de los usuarios del barrio si se quiere que el resultado sea calificado como sostenible. Además, esta participación es beneficiosa, no solo de cara al propio planteamiento del proyecto en sí mismo, sino que además lo es para la propia ciudadanía [8].

3.- Propuesta metodológica de análisis previos

Como ya hemos indicado, partimos de la base de que la propuesta de planificación y diseño de un sistema de SUDS, se debe adecuar a las necesidades del barrio objeto del proyecto. Por ello, los análisis previos deben planificarse como tareas multidisciplinares, en la que deben intervenir disciplinas diversas. Asimismo, debe involucrar a todos los agentes implicados en el proceso, incluyendo Administración local y representantes sociales de los usuarios del barrio, desde las etapas previas del análisis, selección de infraestructuras y uso y mantenimiento posteriores.

Otro aspecto importante del proceso de análisis es que debe concebirse como un desarrollo abierto y cíclico, en el que las decisiones deben tomadas por el colegio de agentes implicados y no exclusivamente por el agente redactor del proyecto. En este sentido las tareas que exponemos, estructuradas en fases, deben posibilitar el proceso revisable.

En nuestra propuesta de acción, consideramos necesarias al menos las siguientes fases de análisis:

1. Información y estudio sectorizado:
 - Datos físicos
 - Datos medio-ambientales
 - Factores sociales
2. Viabilidad teórica de la intervención (Al menos en tres aspectos):
 - Legal
 - Urbanística y social
 - Económica
3. Realización de un Diagnóstico de la viabilidad práctica, a partir de los datos materiales:
 - Condiciones hidrológicas
 - Caracterización de los suelos
 - Estudio de la contaminación del agua
4. Criterios de selección de los SUDS
 - Sistemas y técnicas para recogida y tratamiento de agua en origen

- Sistemas y técnicas de transporte y tratamiento locales
- Sistemas y técnicas de retención y detención

5. Propuesta inicial. Como documento de trabajo con la Administración y agentes sociales

Según lo expuesto, el proceso metodológico para el análisis de la viabilidad del proyecto de rehabilitación hidrológica del barrio, a partir del aprovechamiento de las aguas pluviales, respondería a las fases y acciones del esquema de la figura 1, en las que la presencia de los agentes sociales debe estar activada en todas las fases.

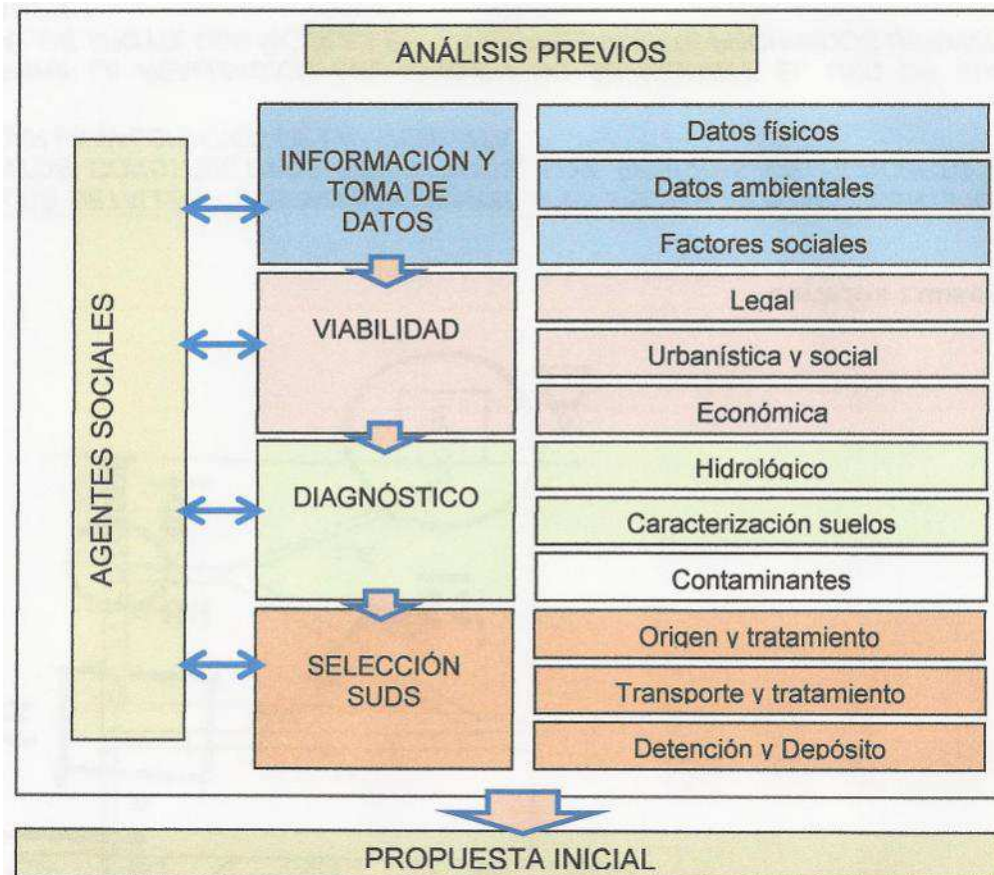


Fig. 1 "Esquema del proceso de análisis previos"

Aunque de una manera sintetizada, a continuación exponemos el contenido y desarrollo de cada una de estas fases del Análisis.

- **FASE 1: Información y estudio sectorizado**

En primer lugar es necesario realizar un estudio sectorizado del contexto de la intervención en un sentido amplio, de los cuales se obtendrán una serie de datos que permitirán confeccionar una Memoria informativa. En concreto nuestra propuesta contempla la siguiente información como datos de partida (Adaptado de Puertas et al. 2008):

- | | |
|-----------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Datos físicos de los suelos | - Permeabilidad
- Topografía
- Hidrología
- Nivel freático
- Existencia de zonas sensibles |
|-----------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|

- | | |
|-------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Datos ambientales del barrio. | <ul style="list-style-type: none">- Disponibilidad de aguas pluviales y posibles usos de las mismas- Posibilidad de ubicar sistemas receptores de las aguas recogidas- Impactos ambientales- Usos urbanos que pueden afectar a la contaminación de los suelos |
| Factores sociales | <ul style="list-style-type: none">- Nivel de aceptación por la comunidad.- Integración paisajística.- Capacidad de gestión de las escorrentías urbanas.- Tipo de explotación y mantenimiento a realizar sobre el sistema. |

- FASE 2: Viabilidad de la intervención

Con los datos obtenidos en la fase de información deberemos poder conocer la viabilidad teórica de la rehabilitación hidrológica del barrio. En este sentido son tres los aspectos que deben analizarse: el legal, el urbanístico-social y una primera aproximación económica.

A. Viabilidad legal

En primer lugar se debe comprobar que la recuperación del agua de lluvia y su reutilización para usos urbanos, es un proyecto viable desde el punto de vista normativo.

Actualmente en España, debemos comprobar la legislación y normas de aplicación en cinco ámbitos: El Europeo, la normativa nacional, la de ámbito autonómico, Instrucciones Técnicas y el ámbito municipal.

En ninguno de los ámbitos expuestos existe normativa que regule la gestión urbana de las aguas pluviales, mediante técnicas de drenaje sostenible. No obstante, consideramos como instrumentos eficaces para el análisis:

- A nivel europeo, la Directiva Marco del Agua (Directiva 2000/60/CE), que establece el concepto de planificación hidrológica y se considera un instrumento fundamental para la gestión sostenible del agua.
- En el ámbito nacional, el RD 1620/2007, de reutilización de aguas depuradas. 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.
- En el ámbito autonómico y en el caso concreto de las aguas pluviales solamente tenemos ejemplos que puedan orientarnos en el Principado de Asturias y su Ordenanza Supramunicipal del 2006 o en la Generalitat Catalana con el Decret 21/2006.
- En cuanto a las Instrucciones Técnicas, aunque no sean de obligado cumplimiento, pueden ser de gran ayuda para este tipo de proyectos, al recoger criterios de diseño y recomendaciones para la implementación de las técnicas para la gestión. En el caso que nos ocupa, podemos hacer referencia a las Instrucciones Técnicas para Obras Hidráulicas de Galicia.
- Por último queda el ámbito municipal. En este aspecto las referencias las dan los grandes municipios. En nuestro caso hemos elegido como referencia la Ordenanza de la Gestión y Uso Eficiente del Agua del Ayuntamiento de Madrid. También nos parece adecuado seguir las recomendaciones 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”.

B. Viabilidad urbanística y social

Aunque desde el punto de vista medioambiental el aprovechamiento del agua de lluvia en un entorno urbano es posible, es necesario analizar la disponibilidad del recurso y establecer los requerimientos de calidad del agua para los usos concretos que se prevean.

En una primera fase del análisis, debe evaluarse la viabilidad del aprovechamiento de las aguas pluviales, tanto en términos de beneficios urbanísticos como ambientales y sociales, para poder enfrentar estos valores cualitativos a los costes económicos de la intervención.

Nuestra propuesta metodológica, la planteamos básicamente con dos elementos de análisis. En primer lugar habrá que comprobar que en un periodo hidrológico normal, las distintas superficies del barrio van a permitir generar un caudal de escorrentía que puede ser controlable, retenido y almacenado en condiciones adecuadas para su uso posterior. En segundo lugar, que existen usos urbanos en el barrio o sus proximidades que precisarán de esa agua almacenada. Y todo ello, de acuerdo a los criterios establecidos por los agentes sociales implicados.

C. Viabilidad económica inicial

Otro elemento que debe ser analizado en esta fase es la viabilidad económica inicial. En principio para que un proyecto de esta envergadura tenga éxito debe plantearse desde el principio de recuperación de costes. Ahora bien, en este caso ha de considerarse no solo el coste financiero de los servicios sino también los costes ambientales y los del recurso. Este es un problema complejo y por ello es muy importante conseguir el apoyo de los agentes sociales del barrio, ya que la recuperación de costes debe tener en cuenta no sólo el coste de gestionar las aguas pluviales, sino también la posibilidad de los impactos que se pueden generar sobre valores tangibles e intangibles para la sociedad.

Por todo ello en la propuesta se incluye evaluar en esta fase la reducción en la demanda de agua potable que se producirá para los usos previstos. Otro dato bastante significativo para apoyar la viabilidad del proyecto es conocer el ahorro económico que supondrá la intervención, en el transporte de las aguas residuales y, especialmente, el ahorro energético que se conseguirá en los procesos de depuración de aguas residuales, al llegar menos caudal de agua a las centrales de tratamiento.

- Fase 3: Diagnóstico

Comprobada la viabilidad teórica del plan, en una segunda fase se debe abordar la viabilidad práctica. En nuestra opinión puede ser la fase más compleja, ya que debe generar una síntesis de la problemática analizada para obtener las soluciones idóneas, definir las estrategias básicas de la intervención, generar los sistemas de protección medioambiental y potenciar los elementos culturales y sociales.

Para poder realizar un buen diagnóstico que nos permita seleccionar adecuadamente los SUDS, hace falta analizar y tratar tres tipos de datos:

- Condiciones hidrológicas del barrio,
- Caracterización de los suelos,
- Análisis de la contaminación de las aguas pluviales.

A. Condiciones hidrológicas

En primer lugar se debe determinar el caudal de agua de lluvia que puede ser recogido por los SUDS. En este sentido, no son válidos los procedimientos de

cálculo usados para los sistemas convencionales, ya que estos sistemas están pensados para encauzar las escorrentías producidas por las aguas de tormenta con el objetivo de una rápida evacuación al medio receptor.

Para el dimensionado apropiado de los SUDS, es preciso calcular la escorrentía generada para el percentil correspondiente al 90 % de todos los eventos de precipitación [9]. Este límite se corresponde en general con precipitaciones con periodos de retorno entre 1 y 2 años. Por lo tanto, los SUDS se dimensionan para captar los caudales asociados con curvas Intensidad-Duración-Frecuencia [10], con periodos de retorno asociados entre 1 y 2,33 años.

B. Caracterización de los suelos

Como los SUDS son sistemas que se realizan en la superficie de los suelos, para poder seleccionar las técnicas más adecuadas, será preciso analizar las características de estos suelos, para conocer su composición, permeabilidad, posibilidades de drenaje, etc.

Por ejemplo, cuando los suelos tiene una baja permeabilidad, el empleo de las tecnologías que tienen su base en los pavimentos permeables o las zanjas de infiltración, precisarán de un detallado análisis técnico que posibilite establecer con certeza su factibilidad técnica, ya que estos sistemas no deben afectar a la estabilidad de los suelos. En estos casos habrá que considerar el dotar de permeabilidad a estos suelos, por ejemplo, utilizando tuberías de drenaje para que evacuen la escorrentía captada por estos sistemas, hacia las zonas de retención, con las suficientes garantías de que no se generen inundaciones ni en las vías urbanas ni en los espacios urbanos circundantes.

C. Contaminación del agua

Otro dato importante para el análisis y que va a ser esencial para la elección de los sistemas y técnicas de tratamiento del agua, es su tipo y grado de contaminación. En este sentido son dos las acciones que deben plantearse en la metodología de análisis. Por un lado hay que caracterizar el tipo de contaminación y medir los niveles de contaminación y por otro lado, ver que tratamiento es el adecuado para depurar el agua y eliminar los contaminantes.

C.1. Caracterización de los contaminantes

Ante todo hay que tener en cuenta que, por regla general, en los eventos de precipitación sobre un suelo urbano, la contaminación acumulada en la superficie durante el tiempo seco (sedimentos, materia orgánica, nutrientes, hidrocarburos, elementos patógenos, metales, pesticidas, etc.), es lavada y arrastrada hacia los sistemas diseñados para recoger el agua.

Además, a medida que se avanza en el recorrido, el agua de lluvia recogida no solo aumenta el volumen de agua sino también su carga contaminante. De modo que para una valorización o aprovechamiento del agua pluvial, cuanto más avanzado se encuentre el punto de captación dentro del ciclo, más necesarias son las técnicas de minimización o de tratamiento de esta contaminación.

Y aunque las técnicas empleadas en la SUDS pueden ser suficientes para lograr una reducción de la polución asociada a la escorrentía superficial [11], ya que incorporan diferentes clases de tratamiento “naturales” como son la sedimentación, filtración, biodegradación o absorción de partículas, el agua de escorrentía superficial en áreas urbanizadas puede tener un grado de contaminación suficientemente elevado como para requerir la aplicación de técnicas de minimización o tratamiento de la contaminación más complejos.

Como se trata de realizar una rehabilitación hidrológica disponiendo sistemas urbanos de drenaje sostenible, para caracterizar los flujos de contaminación de las aguas pluviales, se deben distribuir en todo el recorrido urbano, distintos puntos de control, desde su primer contacto con la superficie (lluvia urbana), su paso por las

superficies elegidas para disponer los SUDS hasta los lugares donde se ubicarán sistemas de depósito y retención. A través de la instrumentalización adecuada se deben medir los caudales y la contaminación mediante toma de muestras o sondas dispuestas en las escorrentías.

Los instrumentos para el análisis van a depender del tipo de control y la metodología de muestreo. En principio, es necesario que todos los puntos del análisis dispongan de un pluviómetro cercano para evaluar la lluvia (histogramas) e identificar aquellos episodios de intensidad y volumen mínimos necesarios para que se genere escorrentía, los cuales pueden variar en función del punto de control. También se deben disponer medidores de caudal o nivel en los puntos donde se prevea ubicar los SUDS, para la recogida de muestras y, especialmente, para valorar la evolución de la contaminación durante los episodios de lluvia (polutograma)

La toma de muestras puede ser manual de manera acumulativa, para su análisis en laboratorio, aunque existen equipos automáticos. En este supuesto, los puntos de control pueden estar dotados de la instrumentación tele-supervisada necesaria para el análisis de los episodios de lluvia. Existen modelos de simulación numérica de caudales y contaminación, como el software SWMM o Infoworks. Estos modelos son recomendados por GEAMA-EHS, empresa de referencia en España en medida y caracterización de la contaminación movilizada en sistemas de saneamiento y drenaje en tiempo de lluvia.

La materia orgánica (DQO y COT) y los nutrientes (nitrógeno total y fósforo total), son buenos indicadores para saber si hay contaminación. Lo normal es que en los primeros estadios del recorrido urbano, prácticamente no sean detectados, pero en la escorrentía superficial urbana se suele registrar un aumento de materia orgánica. En cambio, en el caso de los nutrientes, no suele detectarse a no ser que haya contacto con agua residual [12].

También puede ser necesario controlar la contaminación microbiológica, en especial las concentraciones de *E.coli* y *enterococos* intestinales, la determinación de la concentración de sólidos en sí, especialmente la de los sólidos en suspensión, ya es un buen indicador de la presencia de contaminación general en el agua de lluvia. Esto es así porque la mayoría de contaminantes se encuentran asociados a los sedimentos, y más concretamente a las partículas más finas [13]. De hecho, la movilización de sedimentos, puede asociarse con la del resto de contaminantes mediante unos factores de proporcionalidad con las fracciones de los sólidos en suspensión [14].

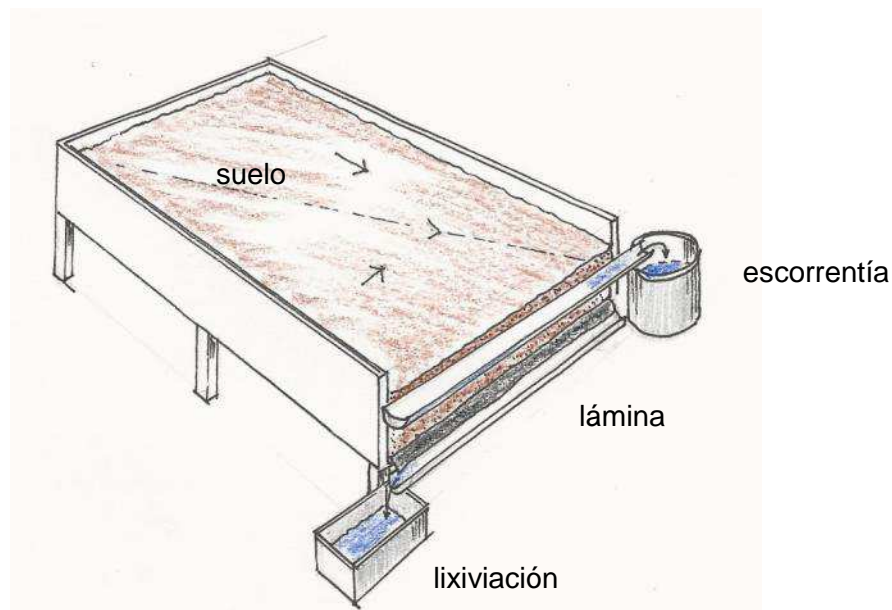


Fig. 2 “Mesa para ensayo de escorrentía y lixiviación”

En nuestro proyecto, además de utilizar instrumentación manual para analizar la movilidad de los contaminantes emergentes del agua pluvial recogida en las superficies urbanas del barrio, hemos previsto la realización de ensayos complementarios de laboratorio a la intemperie, para analizar la escorrentía y lixiviación. Para ello, se han utilizado una serie de mesas de 2.5 metros de largo por 2 de ancho, sobre las que se extiende una capa de suelo de unos 5 cm de espesor (lo que supone unos 350 kg), ya que consideramos que este espesor es el que retiene los contaminantes por deposición. La capa de tierra está colocada sobre una lámina impermeable y se le ha dado una pendiente del 5% en su superficie. De esta manera se puede recoger, en unos recipientes al efecto, la escorrentía de las aguas de lluvia, mientras que la lixiviación recogida en la lámina se vierte en otros recipientes (figura 2).

Las mesas, cargadas con suelo en las que se han incluido diversos contaminantes detectados en las zonas donde se ha previsto construir los SUDS, recogen el agua de lluvia en un periodo mínimo de 12 meses, para ir comprobando, mediante análisis en laboratorio, el modelo de comportamiento de los diferentes contaminantes.

Para la incorporación de estos contaminantes, se ha procedido al riego de la superficie de las mesas por medio de una única aplicación mediante pulverización simulando la cantidad total de contaminantes que habrían llegado al suelo durante un año. En cada uno de los eventos de lluvia, se recogen las muestras de agua de lixiviación y escorrentía y se determinan las concentraciones de contaminantes mediante extracción en fase sólida (SPE) y HPLC con detección de masas por electro-spray de triple cuádruplo [15].

Estos análisis de laboratorio realizados con las mesas de escorrentía se comparan con los datos obtenidos *in situ* para comprobar la eficacia de los sistemas de drenaje y la viabilidad de utilización del agua de lluvia regenerada o ligeramente depurada.

C.2. Tratamiento y eliminación de los contaminantes

En función de los resultados obtenidos en los análisis de calidad del agua, así como de la necesidad o problemática de cada caso concreto, las estrategias de diseño de los SUDS pueden ir focalizadas a distintas finalidades. Por ejemplo, en caso de que en los controles se compruebe que las cargas contaminantes son bajas, el planteamiento puede ser el de disponer simples sistemas de drenaje y no precisar de la aplicación de técnicas de tratamiento muy complejas. En cambio, cuando se

hayan detectado metales pesados o nutrientes, las zanjas de infiltración pueden ser un sistema que minimice la contaminación presente en la escorrentía superficial urbana [16].

Por ello, para poder plantear una selección adecuada de los sistemas urbanos a utilizar en nuestro proyecto, en función de la contaminación del agua, a continuación exponemos las técnicas de tratamiento y eliminación más frecuentes que incorporan los SUDS [17]:

- Sedimentación: Se trata de un procedimiento que separa las impurezas del agua por el efecto de la gravedad. Los sólidos suelen encontrarse disueltos, flotando o en suspensión. Con este método físico se consigue separar los sólidos sedimentables de los que están en suspensión.
- Filtración y bio-filtración: Cuando los contaminantes son transportados por los sedimentos, deben ser filtrados a fin de la eliminación de los primeros. Para proceder a esta infiltración existen procedimientos sencillos pero eficaces, como la utilización de capas vegetales, geotextiles o filtros naturales.
- Adsorción de partículas: Se trata de un procedimiento más complejo, en el que los contaminantes son retenidos al entrar en contacto con ciertas partículas del suelo. Los adsorbentes combinan los procesos químicos y físicos para eliminar los contaminantes orgánicos y los compuestos que dotan al agua de color, sabor y olor. El carbón activado es un adsorbente muy utilizado, ya que atrae no solamente contaminantes sino que además atrae materia orgánica disuelta (mucho de la cual es inocua).
- Biodegradación: En algunos casos las cargas contaminantes son elevadas y requieren, para su eliminación, de tratamientos convencionales de procesos químicos. Sin embargo se corre el riesgo de que los productos utilizados dañen el suelo. De ser así, se pueden emplear prácticas biológicas de degradación, aunque no sean tan efectivas [17].
- Sistemas vegetales: Siempre que sea posible, se recomienda el uso de plantas naturales. Algunas plantas tienen la propiedad de consumir nutrientes consiguiendo la eliminación de los contaminantes, como es el caso del fósforo o el nitrógeno. Por ejemplo, cuando determine la existencia de amonio (NH_4^+) en el agua, se puede utilizar un sistema denominado "nitrificación", que se trata de un proceso por el cual el amonio se transforma primero en nitrito (NO_2^-) y éste en nitrato (NO_3^-), mediante la acción de las bacterias aerobias del suelo. Los nitratos pueden ser consumidos por las especies vegetales.

- **FASE 4. Criterios de selección de los SUDS**

A partir de los datos obtenidos en las fases anteriores que nos han proporcionado las contaminaciones asociadas a las escorrentías, las cuales dependerán de los focos de contaminación difusa que se detecten en la zona urbana y de los usos previstos para el agua recuperada se puede realizar una selección de los distintos sistemas y técnicas más apropiados para el barrio,

En esta fase, también es necesario conocer el destino de aquellas aguas recogidas y que no vayan a ser reutilizadas en labores del barrio, ya que no es igual que estas tengan como destino un medio fluvial, un ecosistema de aguas de transición con bajos tiempos de renovación o una capa freática.

Para la confección de este documento se recomienda seguir una metodología de selección de los sistemas apropiados al barrio, a partir de las diferentes técnicas de recogida del agua, su drenaje y filtración y posterior almacenamiento y tratamiento para usos posteriores o vertido. En este sentido tenemos:

- Sistemas de captación del agua en origen: los dispuestos en origen o zonas de recogida primaria de agua de lluvia. Básicamente suelen estar formados por:
 - Superficies vegetadas,
 - Pavimentos permeables,
 - Pozos y zanjas de infiltración
- Sistemas de captación y transporte: los que se sitúan en todo el recorrido urbano, que tiene por objeto recoger el agua y reducir el volumen de la escorrentía a la vez que realizan el transporte hasta las zonas de retención. También pueden tratar localmente el agua.
 - Drenos filtrantes
 - Bandas o cunetas de césped
- Sistemas de retención o detención y almacenamiento. Como dato indicativo, a nivel de final del recorrido de las aguas pluviales se puede pensar en los siguientes sistemas de almacenamiento:
 - Estanques de retención
 - Depósitos de detención
 - Humedales artificiales
 - Depósitos de filtración
 - Zonas de bio-retención

- **FASE 5: Propuesta inicial**

El siguiente paso es la elaboración de un anteproyecto que presente la propuesta de los sistemas y técnicas a construir en el barrio y su propuesta de ubicación, con el fin de que sirva como base para la fase de consulta con el resto de los agentes implicados.

En este sentido, además de las soluciones técnicas del proyecto, se debe incorporar a modo de un plan de actuación: un programa de gestión y mantenimiento de los sistemas diseñados, para garantizar la eficacia de los sistemas. A modo de ejemplo, podría ser muy apropiado incluir:

- Un programa de limpieza de calles del barrio para evitar la contaminación de los suelos
- Un control de la contaminación de la escorrentía, especialmente si hay zonas comerciales o industriales
- Programas de educación pública
- Programas de gestión de residuos
- Controles para comprobar si se produce la erosión del suelo

6.- Conclusiones

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 en la “rehabilitación hidrológica” de barrios consolidados.

En concreto, la implantación de los SUDS para la gestión de las aguas pluviales, introducen una serie de mejoras en la gestión del ciclo urbano de las aguas pluviales entre las que podemos destacar:

- Una mejora del aporte del agua al subsuelo, aproximándose al proceso natural
- Un control de la escorrentía superficial, regulando los caudales en época de lluvia y manteniendo volúmenes de agua con calidad adecuada para usos urbanos que no requieran agua potable.
- La reducción del consumo de agua potable para usos urbanos permitiendo incrementar los recursos hídricos disponibles

- Una disminución del caudal aportado a las redes de colectores, con el consiguiente ahorro en inversión para ampliar las redes de saneamiento.
- Un control y tratamiento de la contaminación del agua de lluvia, posibilitando su reutilización en usos urbanos.
- Una disminución del caudal de agua contaminada que debe ser tratada en las centrales de depuración de aguas residuales, dando como resultado un ahorro energético

Además, podríamos incluir otra aportación, ya que al proyectar los sistemas urbanos a partir de elementos naturales vegetados, se adornan de un carácter ecológico y posibilitan el potenciar los efectos paisajísticos del lugar con lo que añaden un valor social y ambiental al área de intervención.

En cuanto a la elección de un barrio urbano, como tamaño adecuado para implementar un proyecto de mejora del ciclo hidrológico, presenta como ventaja el que resulta menos complicado aplicar las técnicas de gestión y administración del agua y de sus usos, así como formar a la población en el uso racional y responsable. Por otro lado, si se trata de un barrio consolidado, se puede trabajar de manera conjunta con los agentes sociales, facilitando un control integral del ciclo hidrológico, ya que para la conservación y reutilización de las aguas pluviales, es necesario contar con la colaboración de los usuarios, que deberán participar en los programas de educación ambiental y la modificación de sus hábitos de consumo.

A lo anterior, le podemos añadir que la realización de un proyecto que integre los SUDS como infraestructuras en un barrio consolidado, tiene la suficiente entidad como para plantear un plan de revitalización urbana del barrio, y a partir de un proyecto de rehabilitación hidrológica, incluir estrategias innovadoras que posibiliten la regeneración económica, social y cultural del barrio.

Por último, debemos concluir que al estar en nuestro país aún en fase de desarrollo este tipo de intervenciones, y puesto que se trata de proyectos complejos en los que interactúan factores medioambientales, económicos y sociales, es muy oportuno aportar experiencias, especialmente de los procesos de análisis, que incluyan indicadores que permitan comprobar la viabilidad del proyecto y servir de apoyo para la toma de decisiones. Así como el diseño de modelos y herramientas para implementar estos nuevos procesos de gestión del agua en los que es necesario incorporar métodos para la participación de los agentes sociales implicados.

En este sentido, consideramos que nuestra aportación, en la que exponemos una metodología a seguir en el proceso de análisis previos y de toma de datos, resulta de utilidad para la realización del proyecto y la comprobación de que la propuesta de acción es viable.

REFERENCIAS

- [1] ASCE. EPA, (2002). *Urban Stormwater BMP performance monitoring*. America Society of Civil Engineering, U.S. Environmental Protection Agency. US-EPA/821-B-02-001.
- [2] Xunta de Galicia (2009). *Instrucciones Técnicas para Obras Hidráulicas*.
- [3] Perales Momparler, S. y Andrés Domenech, I (2012). *Los sistemas urbanos de drenaje sostenible: una alternativa a la gestión del agua de lluvia*. Valencia.
- [4] Ayuntamiento de Madrid (2006). *Ordenanza de Gestión y Uso Eficiente del Agua en la ciudad de Madrid*.
- [5] SOSTAGUA (2010). *Proyecto Zenit. Analysis of rainwater quality: Towards Sustainable Rainwater Management in Urban Environments*.
- [6] 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.

- [7] AGENDA 21 (1992). United Nations Conference on Environment & Development. Rio de Janeiro, Brazil.
- [8] Bauluz del Río, Gonzalo (2004): *Guía de Buenas Prácticas de Planeamiento Urbanístico Sostenible*. Consejería de Medio Ambiente de Castilla La Mancha.
- [9] CWP (Center for watershed protection) (2008). *Technical memorandum: The runoff reduction method*. Ellicott City MD. Página 14.
- [10] Butler, D., Davies, J.W. (2000). *Urban Drainage*, E&FN SPON, London, 489 pp.
- [11] CIRIA (2007) *Sustainable Urban Drainage Systems. Design Manual*. Construction Industry Research and Information Association. Londres. ISBN 978-0-86017-697-8 Páginas 4-24.
- [12] Malgrat, P., Verdejo, J.M., Vilalta, A. (2004) *Los depósitos de retención de aguas pluviales de Barcelona*. Tecno Ambiente 144, 13-17.
- [13] Sartor, J.D., Boyd, G.B. (1972) *Water pollution aspects of street surface contaminants*. Office of research and monitoring, U.S. EPA. NTIS. Washington D.C. EPA-R2-72-081
- [14] (Puertas et al. 2008).
- [15] Fernández C., González-Doncel M., Pro J., Carbonell G., Tarazona J.V. (2010). *Occurrence of Pharmaceutically Active Compounds in Surface Waters of the Henares-Jarama-Tajo River System (Madrid, Spain) and a Potential Risk Characterization*. Sci. Total Environ. 408:543-551.
- [16] Fernández C., Alonso C., Babín M.M., Pro J., Carbonell G., Tarazona J.V. (2004). *Ecotoxicological assessment of doxycycline in aged pig manure using multispecies soil systems*. Sci. Total Environ. 323 (1-3): 63-69.
- [17] Ministerio de Medio Ambiente (2008). *Gestión de las aguas pluviales. Implicaciones en el diseño de los sistemas de saneamiento y drenaje urbano*. ISBN 9788477904755. Página 144.
- [18] Castro, D.; Rodríguez, J. y Ballester, F. (2005): *Sistemas urbanos de drenaje sostenible*. Interciencia, Vol. 30, nº 5, 255 a 260.