



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIEROS DE CAMINOS,
CANALES Y PUERTOS



ESTUDIO DE ALTERNATIVAS PARA LA IMPLANTACIÓN DE SISTEMAS DE DRENAJE SOSTENIBLE EN EL BARRIO DE RUZAFÁ (VALENCIA)

Trabajo de Final de Grado

Grado en Ingeniería de Obras Públicas

CURSO 2015-2016

Autor: Alicia Loro Cubel

Tutor: Ignacio Andrés Doménech

JUNIO 2016

ÍNDICE GENERAL

1. MEMORIA

2. ANEJOS

Anejo 0. Legislación, reglamentación, información técnica y recopilación de datos.

Anejo 1. Precedentes

Anejo 2. Descripción de situación

Anejo 3. Diagnóstico de la situación actual

Anejo 4. Planteamiento de técnicas SuDS

Anejo 5. Propuesta de mejoras

Anejo 6. Referencias

3. PLANOS

Plano 1.1 Ubicación de actuación

Plano 1.2 Clasificación del suelo

Plano 2.1 Esquema general de la red de drenaje actual

Plano 3.1 Distribución de elementos SuDS

Plano 3.2 Propuesta general de red de drenaje mixta

4. APÉNDICES

Apéndice 01 Datos de partida

Apéndice 02 Resultados T= 25 años

Apéndice 03 Resultados T= 25 años con SuDS

Apéndice 04 Resultados de Serie histórica

Apéndice 05 Tratamiento estadístico Serie histórica

Apéndice 06 Resultados de Serie histórica con SuDS

Apéndice 07 Tratamiento estadístico Serie histórica con SuDS

Continuo esfuerzo – no la fuerza o la inteligencia – es la clave para liberar nuestro potencial

(Winston Churchill)

AGRADECIMIENTOS

Durante la preparación de este trabajo final de grado, he tenido la suerte con contar con grandes personas a mi lado:

A Ignacio. Desde que comenzó mi andadura por esta escuela tuve la suerte de tenerte como tutor del PATU, y acabo contigo como tutor de mi trabajo de final de grado. Desde el primer momento que llame a tu puerta y te propuse hacer este trabajo no dudaste en apoyarme y creer en él. Gracias por tu templanza y tesón en los momentos complicados. Gracias por tu profesionalidad.

A Xavier Torrent. Gracias por ayudarme en situaciones complejas desde la distancia.

A Emilio. Por apoyarme desde el principio con este trabajo y hasta el último momento estar ahí: animándome en estados de bajón para seguir con esta aventura y no abandonar, sacándome de casa cuando llevaba días sin salir y aguantándome cuando me ponía insoportable.

Y de un modo especial a mis padres. Desde el instante que decidí aventurarme en esta carrera me apoyaron para cumplir con este sueño. No fue fácil. Muchos han sido los instantes que causaron que me cayera a la largo del camino, pero siempre han estado ahí para servir de apoyo y que yo logre levantarme con más fuerza y ganas de luchar. ¡Os quiero!

MEMORIA

INDICE

1. Introducción 8

2. Precedentes 8

3. Justificación del estudio 9

4. Objetivos del trabajo..... 10

5. Caracterización del área de estudio..... 11

 5.1 Datos generales..... 11

 5.2 Problemática existente 11

6. Diagnóstico de la situación actual 12

 6.1 Datos de partida 12

 6.2 Bases de cálculo..... 13

 6.2.1 Hidrología 13

 6.2.2 Hidráulica 14

 6.2.3 Pluviometría 15

 6.2.4 Condiciones climáticas..... 15

 6.2.5 Descripción de la herramienta de cálculo 16

 6.3 Análisis de escenarios de simulación 16

7. Técnicas SuDS..... 17

8. Estudio de propuestas..... 18

 8.1 Configuración del modelo de un elemento SuDS..... 18

 8.2 Cálculo del volumen de almacenamiento en SuDS 20

 8.3 Descripción de propuestas 20

9. Análisis comparativo de escenarios 21

10. Conclusión del estudio 26

Memoria

Estudio de Alternativas para la implantación de Sistemas de Drenaje Sostenible en el barrio de Ruzafa (Valencia)

1. Introducción

El presente documento es la Memoria del Estudio de Alternativas para la implantación de Sistemas de Drenaje Sostenible en el barrio de Ruzafa (Valencia) que corresponde al Trabajo de Final de Grado de la Escuela Superior de Caminos, Canales y Puertos de la Universidad Politécnica de Valencia para la obtención del Grado en Ingeniería de Obras Públicas.

2. Precedentes

La evolución a lo largo de la historia del concepto “gestión” en relación al agua urbana ha sufrido variaciones en las diferentes etapas históricas, desde los romanos hasta tiempos actuales, en función de las circunstancias vividas en ese momento en materia de aguas. Hechos como lograr distribuir, de forma equitativa, el agua potable; evacuar las aguas pluviales durante y tras un episodio de lluvia; o devolver el agua usada de las urbes al medio receptor en condiciones aceptables, son algunas de las metas que se buscan conseguir mediante una gestión integral del agua en las ciudades.

Hoy en día el concepto de “gestión” no ha cambiado significativamente. La modernización de los sistemas de saneamiento con la incorporación de distintas tecnologías ha permitido alcanzar ciertas mejoras que en un futuro cercano no serán suficiente, por distintas circunstancias, siendo de nuevo necesario modificar las pautas de gestión hacia una mayor sostenibilidad del recurso. En próximos años se estima un aumento en la demanda de recursos hídricos respecto a la actual dentro de los núcleos poblacionales, sobretodo de carácter urbano. Como representa la figura 1, entre los distintos factores que provocarán este cambio puede observarse un incremento exponencial de la población mundial que derivará en una demanda masiva de agua y una enorme modificación de la estructura del suelo con superficies terrestres cuyos porcentajes de impermeabilidad se incrementarán por una mayor construcción de zonas pavimentadas y edificaciones. El balance hídrico de las ciudades se verá alterado con un porcentaje de evapotranspiración en superficie superior a los actuales por el incremento progresivo de las temperaturas ambientes, sobretodo acentuado en climas secos, con más “efecto isla de calor” que aumentará la sensación térmica dentro de los centros urbanos; una infiltración más limitada por la impermeabilización del suelo, que impide la recarga de acuíferos y la retención de las aguas precipitadas; volúmenes de escorrentía superficial en mayor cantidad con una velocidad adquirida superior derivado del descenso de los coeficientes de escorrentía y rugosidad de las superficies y que debe ser evacuados lo antes posible por los sistemas de drenaje urbanos para evitar problemas de inundación.

Adicionalmente a todo ello cabe sumar los cambios ambientales originados por el cambio climático con precipitaciones escasas y temperatura incrementadas, junto a otros fenómenos que se acentuarán con dichas condiciones.

Memoria

Estudio de Alternativas para la implantación de Sistemas de Drenaje Sostenible en el barrio de Ruzafa (Valencia)

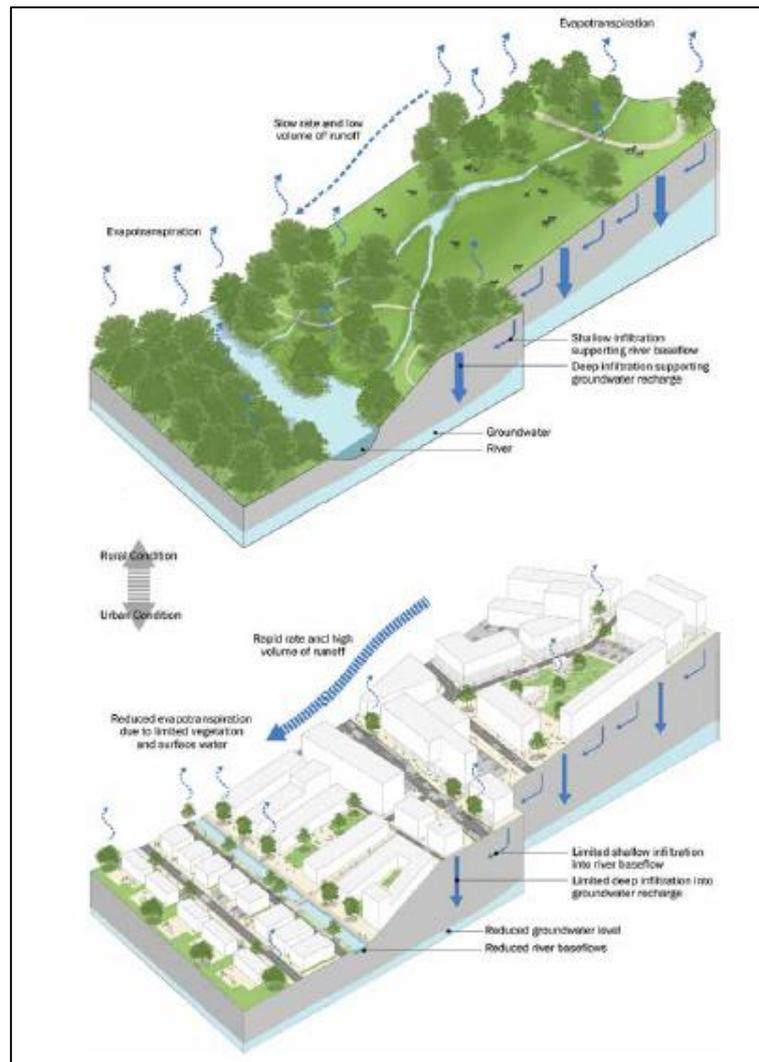


Figura 1. Impactos de la sobreurbanización de las ciudades en el Ciclo del Agua. Fuente: The SuDS Manual, 2015

3. Justificación del estudio

Bajo los condicionantes de una predicción futura con un fuerte desarrollo urbanístico dentro de las ciudades que derivará en una mayor impermeabilización del suelo y menor infiltración en el terreno, de nuevo exigirá ciertas modificaciones en el concepto “gestión” actual, como anteriormente ha ocurrido en situaciones pasadas (anexo 1), para lograr de forma eficiente reaccionar ante las circunstancias venideras. Debido a que gran parte de las aguas pluviales caídas se convertirán directamente en escorrentía superficial que provocará mayores inundaciones, problemas de contaminación difusa y erosión en los suelos, a lo que hay que sumarle las consecuencias del cambio climático que se prevén en una disminución importante de la precipitación. Es necesario proponer alternativas frente esta problemática, o en caso contrario, se agravará la situación con el paso del tiempo.

Memoria

Estudio de Alternativas para la implantación de Sistemas de Drenaje Sostenible en el barrio de Ruzafa (Valencia)

Actualmente, los sistemas de drenaje están diseñados bajo periodos de retorno bastante altos para conseguir evacuar las aguas caídas lo antes posible y luego ser transportarlas mediante colectores de gran diámetro hacia estaciones depuradoras, donde serán tratadas antes de ser devueltas al medio con una mejor calidad, o si las cuantías son excesivas directamente a emisarios que desembocan en el mar. Sin embargo, ante la escasez de precipitaciones, no solo es necesario hacer frente a los volúmenes de escorrentía generados sino conseguir optimizar la red de drenaje para lograr mayor eficiencia en la captación, retención y sobretodo, reutilización de las lluvias. Este estudio propone como alternativa a esta problemática, la complementación de las redes de drenaje actual mediante sistemas de drenaje sostenible para que actúen ambos de forma conjunta. Estos permitirán un mayor manejo de los volúmenes de escorrentía superficial logrando mejor calidad de las aguas, además de un almacenamiento superior para su posterior reutilización y disminuir costes energéticos y económicos, entre otros beneficios.

El área escogida para poder realizar este estudio es Ruzafa, un barrio céntrico de la ciudad de Valencia, que en los últimos 10 años ha experimentado una transformación urbanística que ha acentuado los efectos de una impermeabilización excesiva, un ambiente con clima seco con baja probabilidad de precipitación y con una falta considerable de zonas verdes. Este lugar representa de este modo como un entorno ambicioso en el cual poder analizar las posibles mejoras tras la complementación de la red convencional existente con una propuesta razonable de implantación de SuDS.

4. Objetivos del trabajo

Los objetivos a alcanzar con este estudio, a partir de lo expuesto en puntos anteriores son:

- Describir la zona de actuación del estudio, dentro del barrio escogido, para poder desarrollar un análisis exhaustivo de la situación de partida.
- Comprobar si la red actual cumple con lo establecido por la normativa de saneamiento municipal.
- Estudiar el comportamiento de la red a lo largo de una serie histórica para observar la evolución de los volúmenes de escorrentía generada, así como las proporciones que son infiltradas, evaporadas y almacenadas en superficie por el aumento progresivo de impermeabilización en la zona.
- Detectar áreas problemáticas derivadas del funcionamiento deficiente del sistema de drenaje actual donde reflexionar la implantación de elementos SuDS que influyan en la mejora de estado del sistema.
- Proponer alternativas, bajo criterios técnicos, económicos, sociales y medioambientales, dentro de las distintas tipologías de SuDS existentes, que se pueden implementar dentro de la red de drenaje urbana del barrio para conseguir reducir dichos volúmenes generados, aumentar la infiltración y almacenaje del sistema.

Memoria

Estudio de Alternativas para la implantación de Sistemas de Drenaje Sostenible en el barrio de Ruzafa (Valencia)

- Comparar las diferencias experimentadas bajo una red de drenaje mixta haciendo una comparativa entre la situación de partida con un sistema convencional de saneamiento y una situación donde el sistema está complementado con elementos SuDS.
- Valorar, de forma cuantitativa y cualitativa, las mejoras detectadas en una red convencional de drenaje después de la implantación de diferentes elementos SuDS a lo largo de toda un área urbana mediante un estudio del comportamiento hidráulico del sistema y las variaciones estadísticas de volúmenes de escorrentía.

5. Caracterización del área de estudio

5.1 Datos generales

Ruzafa es un barrio central ubicado al sureste de la ciudad de Valencia perteneciente al Distrito 02, denominado L'Eixample, que ocupa una extensión de 87,8 Ha (Ayuntamiento de Valencia, 2015) y donde residen 23.855 habitantes ("Padrón Municipal de Habitantes 2015", Ayuntamiento de Valencia). Actualmente, su actividad económica principal se basa en el sector terciario con locales vinculadas al comercio, la restauración y la hostelería.

Como se observa en los planos adjunto a esta memoria, delimita el barrio de Ruzafa dentro del área metropolitana de la ciudad de Valencia y se diferencia el área de estudio que se emplea en este trabajo (plano 1.1) y se representa la clasificación urbanística del suelo (el plano 1.2) donde se destaca el predominio de suelo urbanizado mixto con bajos con carácter comercial y parte del área del barrio catalogada como casco urbano histórico lo que conlleva a poseer cierta protección especial las edificaciones ubicadas dentro de esta área.

Todas las modificaciones que se vieron oportunas realizar fueron expuestas en el "Plan General de Ordenación Urbanística de la ciudad de Valencia" publicado en el año 2008, de los cuales se destacan la reforma de la estructura de las calles, la peatonalización de zonas del barrio y el redimensionamiento de espacios verdes.

5.2 Problemática existente

Las reformas sufridas impulsan una mayor pavimentación del barrio cuya consecuencia es el incremento de impermeabilización. Gran parte de las superficies presentaran coeficientes de escorrentía más altos y menos rugosidad que supone tiempos de concentración más reducidos. Las aguas precipitadas serán convertidas directamente en escorrentía superficial debiendo ser recogidas y transportadas lo antes posible por la red de drenaje del barrio para evitar problemas de inundaciones de calles. Asimismo presentan una mayor carga contaminante consecuencia de un clima más cálido y menos lluvioso, que propiciará calles con mayor acumulación de contaminación (hidrocarburos, polvo ambiental,...) por falta de auto-lavado. Las estaciones de tratamiento de aguas deberán de hacerse cargo de más volumen y con más contaminación lo que supondrá presentar más capacidad de depuración, encareciendo el coste de tratamiento y mantenimiento de la red y de la estación. A todo ello cabe sumar la carencia de vegetación que

Memoria

Estudio de Alternativas para la implantación de Sistemas de Drenaje Sostenible en el barrio de Ruzafa (Valencia)

favorece un ambiente más caluroso y más concentrado por la acumulación de calor del pavimento de las aceras.

Ante el reflejo de cierta saturación urbanística que puede suponer una respuesta poco eficiente del sistema de evacuación de aguas pluviales, a lo que se le puede sumar los diversos problemas futuros planteados en apartados anteriores, se presenta esta zona apta para poder ser caso de análisis de este estudio.

6. Diagnóstico de la situación actual

A continuación, se detallan los datos de partida y bases de cálculo empleadas a partir de las cuales se analiza la red de saneamiento actual del área de estudio bajo dos escenarios: uno, el cumplimiento de las exigencias establecidas por la "Normativa para obras de Saneamiento y Drenaje Urbano de la ciudad de Valencia" (2015) para el periodo de retorno de 25 años a partir del estudio hidráulico y volumétrico del sistema; otro, la obtención del volumen de escorrentía asociados a cada chubasco que se genera en la cuenca urbana a lo largo de una serie histórica de 17 años (1990-2006) con un total de 464 eventos.

La finalidad de este análisis es estudiar la respuesta del sistema e identificar cada uno de los problemas surgidos durante las simulaciones. Esto permite establecer posibles zonas de actuación donde poder incorporar elementos SuDS, como medida impulsora que mejore el comportamiento de dicha red así como el entorno urbanístico del barrio.

6.1 Datos de partida

Esta red de saneamiento y drenaje urbano corresponde a un sistema unitario compuesto por 1008 nodos y 1004 tramos de conducciones distribuyéndose a lo largo de 116 km de recorrido. Todo queda definido por atributos extraídos a partir de la información del sistema de información S.I.R.A para poder realizar las simulaciones de escenarios pertinentes (apéndice 01). Las diferentes subcuencas que componen el sistema de análisis se obtienen a partir del método de los polígonos *Thiessen*.

Los valores de porcentaje de impermeabilización y almacenamiento en depresión de las mismas son:

Tabla 1. Coeficientes de impermeabilidad utilizados en el estudio

Zonas urbanas impermeables	95%
Zonas urbanas con vegetación	80%

Memoria

Estudio de Alternativas para la implantación de Sistemas de Drenaje Sostenible en el barrio de Ruzafa (Valencia)

Tabla 2. Valores típicos de almacenamiento en depresión. Fuente: ASCE (1992), *Design & Construction of Urban Stormwater Management Systems*, New York.

Superficies impermeables	1.25 - 2.5 mm
Césped y hierba	2.5 - 5 mm
Pastos y prados	± 5 mm
Lecho forestal	± 7 mm

También cabe considerar las modificaciones efectuadas sobre la estructura urbana del barrio que suponen cierta alteración de las redes de drenaje natural lo que fomenta mayores volúmenes de escorrentía tras eventos de lluvia, caracterizados por tiempos de concentración más cortos. El valor de la pendiente media de las subcuencas está influenciado por dicho valor obtenido a partir de un Modelo Digital de Terreno. Desarrollo más detallado en el anejo 3.

6.2 Bases de cálculo

En el siguiente apartado se describen de forma breve las bases teóricas para la modelación del drenaje urbano empleadas en este estudio.

6.2.1 Hidrología

- Modelo de producción de escorrentía: Entre los modelos de producción disponibles para calcular el volumen de escorrentía es escogido el modelo del **Soil Conservation Service (SCS)** debido a utilizar un número de parámetros bajo y considerar esta producción dependiente de la precipitación y no del tiempo transcurrido durante el fenómeno. Asimismo se acomoda a las curvas de lluvia-escorrentía que se puedan contemplar durante todo el proceso de cálculo de este estudio.

La hipótesis base para el cálculo supone que el suelo tiene cierta cantidad de agua caída al principio del evento, denominado umbral de escorrentía (P_o), por debajo del cual no se produce escorrentía superficial delimitando que de la lluvia caída (P), parte puede ser retenida por el suelo (P_r) y parte genera escorrentía (P_n). La capacidad de infiltración decreciente con el paso del tiempo, y se fundamenta en la ecuación de continuidad que relaciona todo es la siguiente expresión:

$$P = P_o + P_r + P_n$$

donde:

P es la precipitación total que cae durante un evento de lluvia en l/m^2 o mm

P_o es el umbral de escorrentía, o abstracción inicial, por debajo del cual no se genera escorrentía superficial en l/m^2 o mm

P_r es parte de precipitación total que queda retenida en las imperfecciones superficiales y que posteriormente pueden ser infiltradas o evaporadas en l/m^2 o mm

Memoria

Estudio de Alternativas para la implantación de Sistemas de Drenaje Sostenible en el barrio de Ruzafa (Valencia)

P_n es parte de precipitación total que genera escorrentía directa en l/m^2 o mm

El modelo SCS emplea una formulación a partir del concepto Número de Curva (NC) en función de:

- Precipitación acumulada, la cual utiliza el valor de la precipitación con el fin de valorar crecidas o caudales pico.
 - Tipo de suelo, cuyas condiciones de infiltración subsuperficial (capacidad de infiltración y permeabilidad) influyen de forma directa en la producción de escorrentía.
 - Presencia de cobertura vegetal que ejerce relevancia en la escorrentía por su capacidad para absorber agua durante eventos de lluvia.
- Modelo de propagación. Es el modelo conceptual de embalse basado en la simplificación de la cuenca como si de un depósito se tratase. Entra el flujo que se encuentra en la superficie y corresponde al agua ya precipitada, luego se almacena y acaba siendo evacuada al alcanzar un nivel determinado de agua dentro del depósito de la cuenca, previamente establecido. El modelo de embalse es no lineal respecto al tiempo, cuya relación de descarga es la ecuación de onda dinámica para dirigir dicho flujo de cada subcuenca hasta el nodo correspondiente.

6.2.2 Hidráulica

El modelo de cálculo hidráulico se basa en las ecuaciones de Jean Claude Saint-Venant (1871) las cuales gobiernan el problema del flujo transitorio unidimensional en lámina libre, considerando una mínima simplificación de las ecuaciones fundamentales de la hidráulica (ecuación de continuidad y de cantidad de movimiento) en un flujo variable en el tiempo.

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{A} \right) + g \cdot A \cdot \left(\cos \theta \frac{\partial y}{\partial x} - S_o + \frac{Q|Q|}{K^2} \right) = 0$$

donde:

Q es el caudal del flujo en m^3/s

A es la área transversal de la sección en m^2

g es la aceleración de la gravedad en m/s^2

θ es el ángulo de la rasante respecto a la horizontal en grados sexagesimales ($^\circ$)

S_o es la pendiente de la rasante en m/m

K es constante que hace referencia al transporte del flujo

La transferencia del flujo por los colectores de la red de saneamiento se resuelven empleando la expresión de Manning derivada de la sustitución de la formula Chézy.

Memoria

Estudio de Alternativas para la implantación de Sistemas de Drenaje Sostenible en el barrio de Ruzafa (Valencia)

$$C = \frac{1}{n} R^{1/6}$$

$$v = \frac{1}{n} \cdot R^{2/3} \cdot S^{1/2}$$

donde:

C es el coeficiente que deriva de la fórmula de Chévy [$v = C \sqrt{R \cdot S}$]

n es el coeficiente de rugosidad o Manning en m.

R es el radio hidráulico en m.

S es la pendiente de la línea de agua o gradiente hidráulico en m/m.

A es el área de la sección del flujo de agua en m².

V es la velocidad media del agua en m/s

6.2.3 Pluviometría

Este estudio analiza bajo dos escenarios la red de drenaje:

- 1) Lluvia de diseño con un periodo de retorno asociado de 25 años.

Exigencias de normativa municipal en materia de saneamiento que obliga a cumplir con un nivel de protección para aguas pluviales caídas dentro de la ciudad de Valencia correspondientes a un periodo de retorno adoptado de 25 años para toda red proyectada.

- 2) Serie histórica 1990-2006.

Intervalo de tiempo de 17 años que acoge 464 eventos de lluvia para analizar detalladamente los procesos de transformación lluvia/caudal antes y después de la incorporación de los elementos SuDS. Se estima el valor del volumen de escorrentía asociado a cada chaparrón para posteriormente realizar un estudio estadístico en relación a la probabilidad de no excedencia del evento en cuestión.

6.2.4 Condiciones climáticas

La transformación que sufre el agua presente en superficie es factor clave para la simulación continua del periodo extendido 1990-2006, debiendo el modelo incorporar la modelación de evapotranspiración entre chaparrones para que el suelo se seque y se puede apreciar el efecto a largo plazo.

Memoria

Estudio de Alternativas para la implantación de Sistemas de Drenaje Sostenible en el barrio de Ruzafa (Valencia)

6.2.5 Descripción de la herramienta de cálculo

Para la realización de este estudio se ha procedido a utilizar: *GISWATER*, driver informático que conecta cualquier base de datos georreferenciada con un programa de análisis hidráulico, permitiendo la gestión integral de ciclo del agua dentro una cuenca urbana; *EPA SWMM*, software hidráulico que posibilita la simulación de precipitaciones, tanto de eventos de lluvia puntuales como una serie continua de ellos durante un periodo de tiempo determinado; *QGIS*, sistema de información geográfica de código libre que interrelaciona diferentes bases de datos georreferenciadas a partir del manejo de formatos ráster y vectoriales a través de las bibliotecas GDAL y OGR, así como sus propias bases de datos.

6.3 Análisis de escenarios de simulación

Después de los cálculos realizados bajo los dos escenarios expuestos: explicados detalladamente en el anejo 3 de este estudio, se deducen los siguientes resultados:

Bajo el periodo de retorno de 25 años, la respuesta hidráulica de la red actual cumple con las exigencias de la “Normativa para obras de Saneamiento y Drenaje Urbano de la ciudad de Valencia” (2015). Destacar que puede haber aspectos concretos de la red que mejorar para lograr una mejor respuesta del sistema. Incrementar la proporción de áreas impermeables y la carencia de espacios verdes favorece la transformación de gran parte de la precipitación caída en escorrentía superficial.

Tabla 3. Balance volumétrico del escenario 1

ESCORRENTIA	ALMACENAMIENTO	INFILTRACIÓN
83,6	1,4	0,8
97,4%	1,6%	0,92%

Tabla 4. Balance volumétrico del escenario 2

ESCORRENTIA	EVAPORACIÓN	INFILTRACIÓN	ALMACENAJE
5265,2	1123,3	133,5	0,1
80,9%	17,3%	2,1%	0,002%

El terreno no presenta suficiencia de infiltración y almacenamiento produciendo excesos de volumen en superficie que deben de ser captados y transportados en su totalidad por la red actual de drenaje convencional. La capacidad del sistema está condicionada con tramos de colector que presentan contrapendientes y tamaño de diámetros insuficientes, sobretudo en tramos de cabecera, que favorezcan la entrada en carga de éstos y por consiguiente no responde adecuadamente. Con la serie histórica se aprecia mejor este fenómeno ya que con las últimas reurbanizaciones del barrio han agravado todavía más esta situación. Los eventos de alta intensidad producen caudales picos superiores, cada vez más dañinos por resultar un volumen

Memoria

Estudio de Alternativas para la implantación de Sistemas de Drenaje Sostenible en el barrio de Ruzafa (Valencia)

mayor en menos tiempo y que no son bien evacuados de las calles pudiendo causar la inundación ocasional de nodos, y con ello de nuevo las propias superficies.

En resumen, el sistema de drenaje actual cumple suficientemente con la normativa actual. No obstante, este trabajo propone implementar en la red actual diversos elementos SuDS cuyo objetivo es descender los volúmenes de escorrentía generados a partir de la sustitución parcial de áreas impermeables por otras con una permeabilidad superior para así éstas facilitar en mayor medida la captación y retención de las escorrentías, rebajando la posibilidad de inundaciones y avenidas con un efecto laminador. Mejora la capacidad de respuesta del sistema convencional que se verá menos colapsado, además de favorecer el aumento de mayor número de zonas verdes dentro del entorno urbano, creando espacios más agradables y menos contaminados. En los apéndices 2, 4 y 6 se refieren los resultados obtenidos en ambas simulaciones así como los tratamientos estadísticos.

7. Técnicas SuDS

Los sistemas urbanos de drenaje sostenible (SuDS del acrónimo anglosajón de Sustainable Drainage Systems) son un conjunto de componentes que conforman parte de la infraestructura verde de una ciudad cuya finalidad es la captación de la escorrentía superficial generada tras un evento de lluvia para luego ser almacenada, filtrada, reutilizada y/o infiltrada en el terreno natural, posibilitando la disminución de volúmenes de agua en superficie así como la reducción de la carga de contaminantes de éstas antes de introducirla de nuevo al sistema de alcantarillado. Existe una variedad de elementos SuDS: superficies permeables, cubiertas verdes, áreas de biorretención, cunetas verdes, humedales artificiales, estanques y lagunas filtrantes, pozos, trincheras o bandas filtrantes (más detalladas en el anejo 4).

Este trabajo no contempla excluir los sistemas convencionales ya implantados dentro de las ciudades sino configurar una red combinada con los distintos tipos de SuDS para mejorar la respuesta del sistema: controlar mayor cantidad de la escorrentía superficial producida dentro de un entorno urbano evitando riesgos de inundación, gestionar la calidad de dicha escorrentía previniendo una excesiva contaminación, conseguir un ambiente urbano más limpio dentro de la ciudad y crear entornos urbanos más compatibles con el medio natural.

Memoria

Estudio de Alternativas para la implantación de Sistemas de Drenaje Sostenible en el barrio de Ruzafa (Valencia)

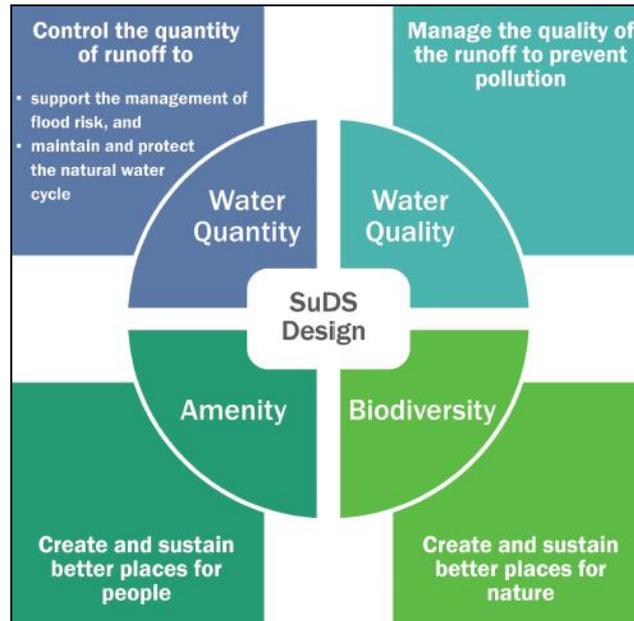


Figura 2. Fundamentos básicos que persigue una configuración integral de diversos SuDS dentro de un entorno urbano. Fuente: CIRIA SuDS Manual 2015.

Es necesario estudiar los distintos factores físicos, climáticos, sociales y económicos que condicionan el diseño, construcción y comportamiento de los SuDS a incorporar a la nueva red. Los factores que se consideran en este estudio son: climatología local, tipología de vegetación, particularidades del terreno natural y aspectos constructivos y de conservación.

8. Estudio de propuestas

A partir de la incorporación de diferentes elementos SuDS de forma complementaria a la red de drenaje actual se determina una nueva configuración de suelo urbano, previamente calculada el área a ocupar por estos nuevos elementos dentro de la zona de estudio. Bajo los mismos escenarios de análisis del anejo 3, se estudia el comportamiento de la nueva red mixta de drenaje para estimar las diferencias de volúmenes generados. Se exponen además los beneficios técnicos, económicos, sociales y medioambientales que aporta al nuevo sistema integro.

8.1 Configuración del modelo de un elemento SuDS

El suelo urbano se presenta con una estructura definida por: una zona permeable ($A_{\text{permeable}}$), la cual se encarga de infiltrar parte del agua retenida en superficie a través de los huecos de su estructura, para posteriormente ser almacenada y una zona impermeable ($A_{\text{impermeable}}$), que no permite el paso del agua sino que la convierte en escorrentía que va escurriendo por la superficie hasta ser recogida nuevamente por la fracción permeable o por el sistema convencional de drenaje, consiguiendo evacuarla fuera de las calles lo antes posible. La proporción entre ambas áreas se ha desequilibrado en los últimos años debido al aumento progresivo de la fracción impermeable.

Memoria

Estudio de Alternativas para la implantación de Sistemas de Drenaje Sostenible en el barrio de Ruzafa (Valencia)

Este estudio presenta como alternativa ante esta problemática los SuDS. Su incorporación a la red actual supone una modificación del concepto "suelo" pues parte de la superficie total es destinada a ellos caracterizándose por una alta permeabilidad que posibilita mayor detención, infiltración y evapotranspiración del agua superficial (A_{SuDS}). Trata una proporción superior de escorrentía sin abandonar a la red actual jugando de forma conjunta en el caso de exceso de volúmenes, que no puedan ser gestionados ni por las zonas permeables ni por los SuDS.

Ecuación 1. Redistribución del suelo urbano

$$A_{total} = A_{permeable} + A_{impermeable} \rightarrow A_{total} = A_{permeable} + A_{impermeable} + A_{SuDS}$$

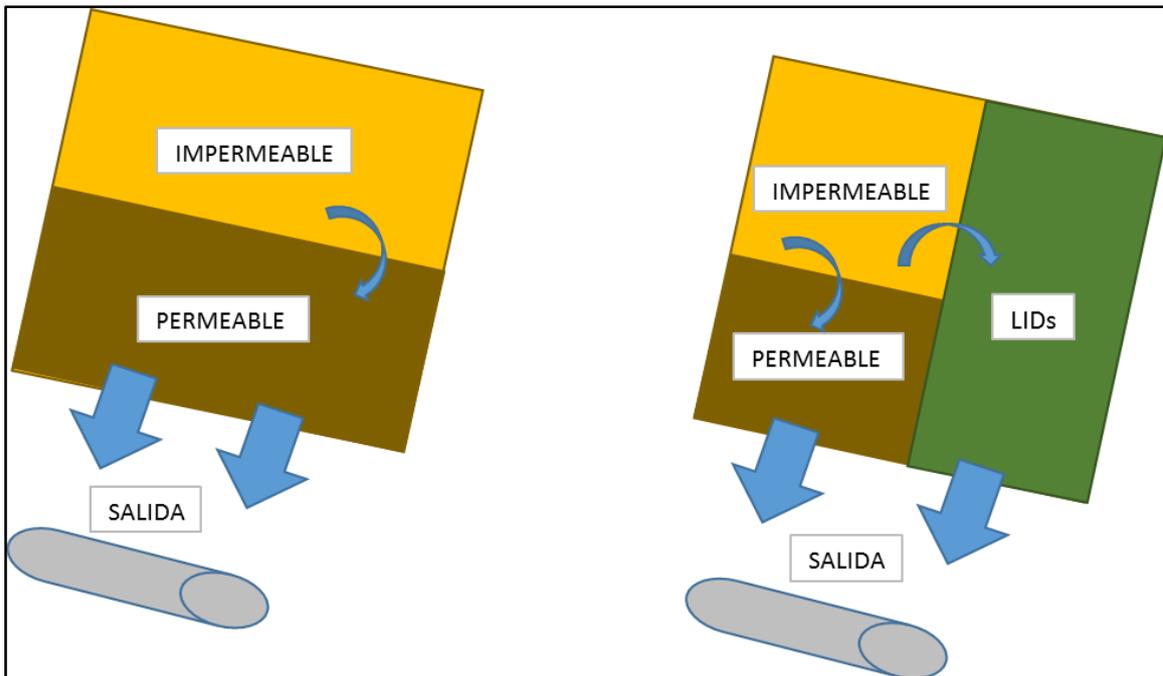


Figura 3. Esquema general del suelo urbano sin y con modificación de la superficie

Expuesta la redistribución de la superficie en cuanto a las áreas que representa SuDS dentro de la subcuenca urbana, se conceptualiza el modelo de capas que adopta el software empleado para este estudio, EPASWMM: una estructura interna configurada a partir de una combinación de capas verticales que reúnen los parámetros necesarios para definir las propiedades básicas de cada capa reproduciendo su comportamiento dentro del modelo de infiltración.

Las posibles capas que se pueden considerar para cada combinación son: superficie, pavimento, suelo, capa de almacenamiento, capa de drenaje y material drenante (más detalle en el anejo correspondiente A5).

Memoria

Estudio de Alternativas para la implantación de Sistemas de Drenaje Sostenible en el barrio de Ruzafa (Valencia)

8.2 Cálculo del volumen de almacenamiento en SuDS

Para alcanzar altos rendimientos dentro un área urbana consolidada y percibir la gestión de los volúmenes de escorrentía, es conveniente considerar un porcentaje mínimo de ocupación, entorno al 10-20 % de la superficie total donde se desea implantar, de lo contrario no se apreciará ningún efecto (Codolá, P).

Este estudio propone la ocupación entorno al 30-40% del área de estudio, aproximadamente 180000 m² distribuido de forma homogénea con el empleo de distintos elementos SuDS que pueden llegar a retener hasta 10.300 m³.

Tabla 5. Estimación del porcentaje de ocupación de los SuDS en función del volumen de escorrentía gestionado (con una profundidad media de almacenamiento $h=0.3$ m y un índice promedio de huecos $e=0.15$).

% A_{total}	A_{SUD}	h (m)	e	V_{almac} (m ³)
20%	136000	0,3	0,15	6120
30%	170000	0,3	0,15	9180
40%	204000	0,3	0,15	12240

8.3 Descripción de propuestas

Este estudio pretende escoger las actuaciones pertinentes que mejoren la captación, retención y almacenamiento de aguas pluviales caídas, incorporando elementos SuDS que formen parte de la estructura existente, aprovechando zonas libres de ésta, para llegar a gestionar el máximo volumen de agua con la mínima ocupación. Como existe cierta limitación de espacio, por su alta consolidación, se opta por tipologías con cierta capacidad de almacenamiento que permitan captar y retener el agua mientras se filtra de forma laminada con el paso del tiempo. Los elementos propuestos se distribuyen a lo largo del área de estudio siendo escogidos bajo la metodología expuesta en el anejo 4.

Las tipologías seleccionadas son:

- Pavimento permeable
- Áreas de biorretención
- Cubiertas verdes
- Zanjas filtrantes

En el apéndice se describen con detalle y se justifican todos los valores para representar los distintos elementos en cada superficie así como en el plano 3.1 se representan gráficamente los elementos.

9. Análisis comparativo de escenarios

A partir de la nueva propuesta de configuración de la red de drenaje urbana que incorpora los elementos definidos anteriormente, se procede a realizar un nuevo diagnóstico bajo los mismos escenarios de simulación del anejo 3. La comparación de ambos escenarios permite cuantificar las variaciones de volumen de escorrentía, infiltración y almacenamiento experimentados dentro de la cuenca de estudio tras el aumento de permeabilidad a nivel sistema, así como conocer la nueva respuesta del sistema convencional.

Respecto al escenario 1, la producción de volúmenes de escorrentía se reduce considerablemente casi un 20% menos de agua circulando por la cuenca urbana el cual es retenido e infiltrado por el sistema de drenaje sostenible y no captado por el sistema de drenaje convencional.

Tabla 6. Volumen total generado (mm) en T=25 años tras la incorporación de SuDS

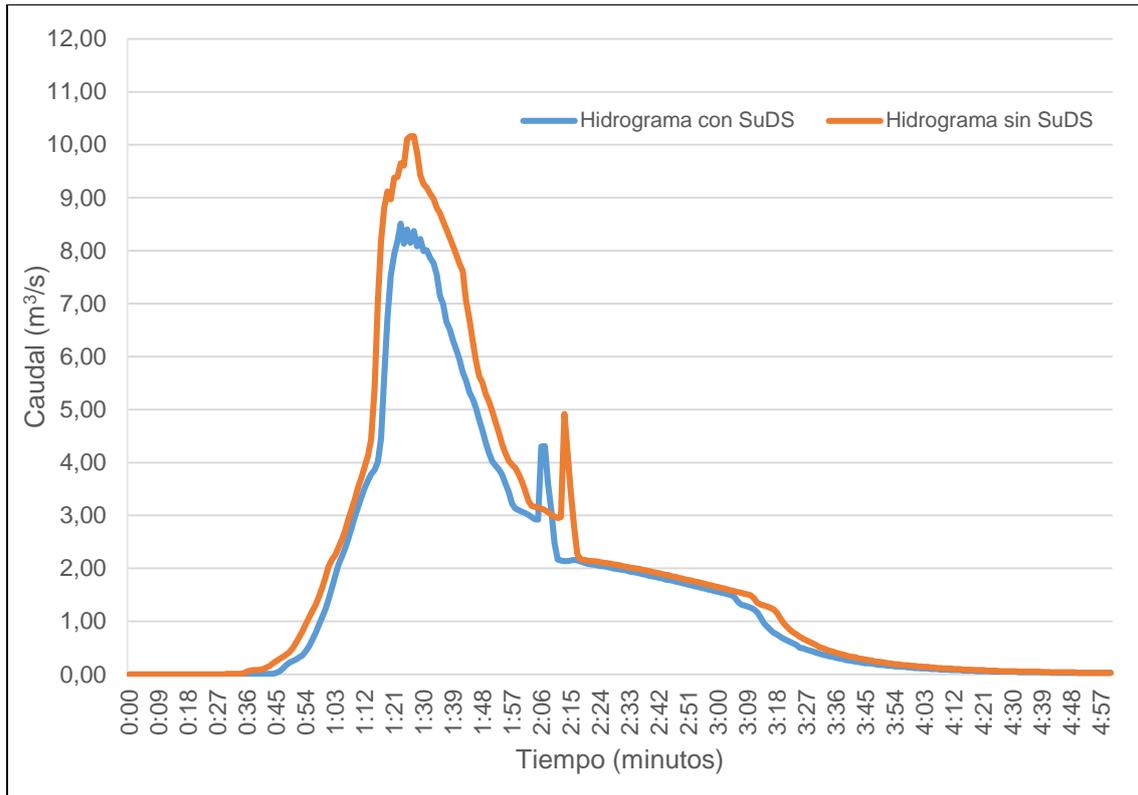
ESCORRENTIA	ALMACENAMIENTO	INFILTRACIÓN
68,4	18,6	1,5
79,7%	20,5%	1,7%

El comportamiento hidráulico del sistema supone una disminución de la velocidad promedio del flujo superficial respecto a la simulación de partida a 1,40 m/s. Se refleja el efecto amortiguador de los volúmenes de escorrentía durante los eventos de lluvia y con ello enfatiza que se rebaje la entrada de flujo haciendo que parte de los tramos ubicados cerca o sobre superficies con estos elementos vean disminuido su volumen de entrada en el sistema convencional, e incluso provocando que no entren en funcionamiento. No obstante, una menor entrada de flujo en el sistema convencional no asegura que siga recibiendo cantidades de escorrentía excesivas provenientes de la cuenca urbana que comprometen la capacidad de los tramos del sistema, es decir, continua existiendo un número importante de colectores que entran en carga frente a tramos que funcionan de manera óptima y correcta. Los nodos de entrada del sistema acontecen la recepción exorbitante de flujos a la que no puede hacer frente y deben ser expulsados nuevamente hacia el exterior, aunque en menor cantidad que antes. Destacar, nodos ubicados en puntos bajos del sistema, y que además coinciden con cambios de sección de tramos de colector, son los lugares que siguen presentando mayor complicación para evacuar los excesos de volumen producidos.

Respecto al caudal pico, se observa la laminación de los volúmenes por parte de los elementos SuDS. La tardía entrada en funcionamiento del sistema convencional refleja como los SuDS se encargan de atenuar los primeros volúmenes hasta que estos superen la capacidad de almacenamiento de los mismos y comienza a ser evacuado el volumen de exceso en depresiones por el sistema convencional. La capacidad de infiltración se ve mejorada respecto a la situación de partida.

Memoria

Estudio de Alternativas para la implantación de Sistemas de Drenaje Sostenible en el barrio de Ruzafa (Valencia)



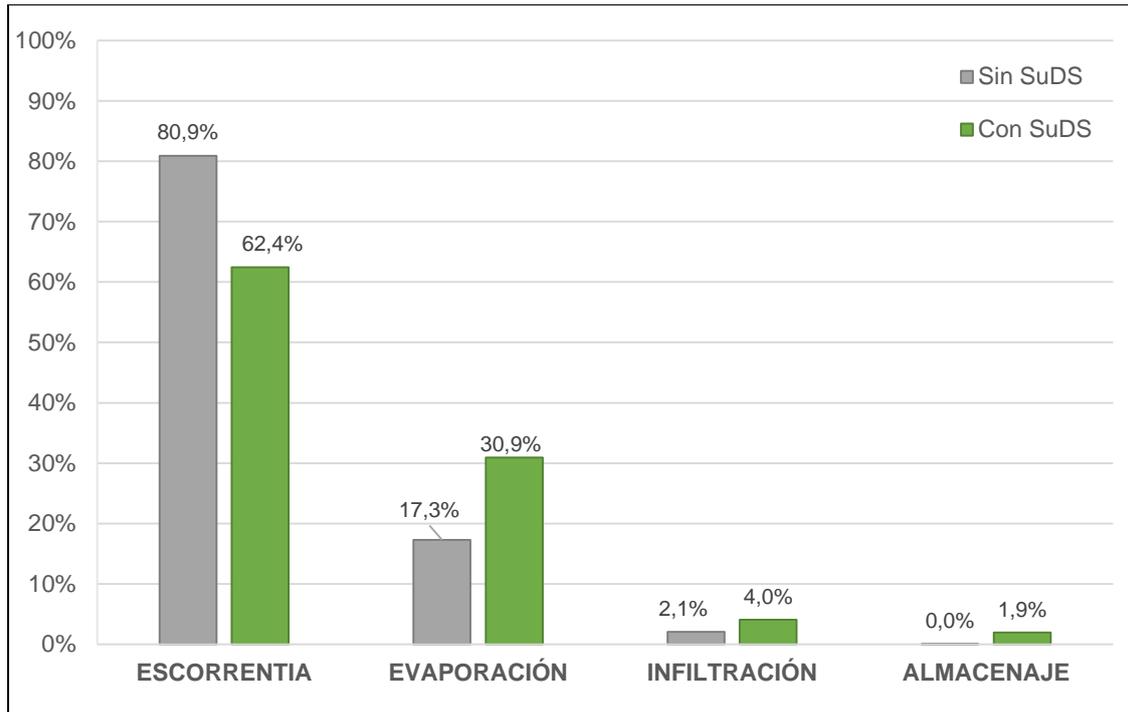
Gráfica 1. Hidrograma asociado a la lluvia de periodo de retorno 25 años de la red mixta.

En cuanto al escenario 2, los resultados obtenidos plasman una mejoría de respuesta con la red de drenaje mixta en lo que a producción de volúmenes de escorrentía se refiere, igual que en el escenario 1. La incorporación de los SuDS ha supuesto un descenso de alrededor de un 20% en el volumen de escorrentía. Igualmente la capacidad de infiltración del suelo se presenta con casi un 2% más, evidenciando que el terreno presenta una mayor permeabilidad, lo que supone un caudal filtrado de agua mayor y con ello, cierta laminación de las aguas precipitadas.

Las pérdidas por evaporación, alcanzan hasta un 2% de volumen ya que al aumentar el número de espacios verdes, y con ello el porcentaje de vegetación, implica que se retiene mayor agua, pero también se evapora más. La proporción de vegetación que se presenta en los distintos SuDS, sobretodo en las áreas de biorretención, puede ser más refinada con el objetivo de lograr una más eficiencia del sistema de drenaje sostenible.

Memoria

Estudio de Alternativas para la implantación de Sistemas de Drenaje Sostenible en el barrio de Ruzafa (Valencia)



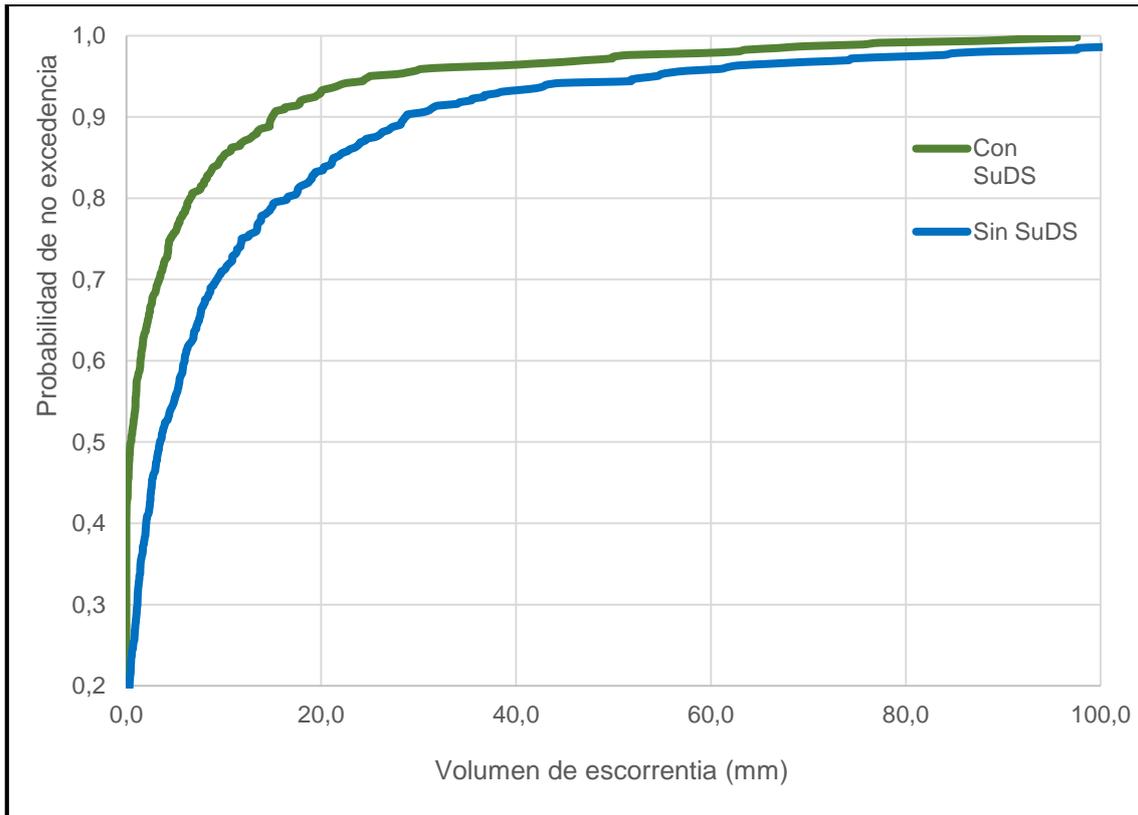
Gráfica 2. Comparativa de porcentaje de volúmenes generados tras la incorporación de elementos SuDS al sistema de drenaje.

La probabilidad de no excedencia mínima aumenta hasta 0,4 y la máxima se mantiene a 1,0 pero con un volumen de escorrentía asociado mucho menor, 100 mm aproximadamente. Por tanto, se suavizan los eventos de lluvia, presentándose un nuevo escenario con lluvias cuyo volumen de escorrentía oscila entre 0 - 50 mm y aquellos episodios de lluvias con carácter torrencial asociados a periodos de retorno altos se reducen considerablemente. La diferencia entre la situación inicial y la nueva se aprecia en la gráfica 4.

Todas las gráficas reflejan el trabajo conjunto entre un sistema de drenaje sostenible y una red convencional. Los SuDS responden haciéndose cargo de las primeras aguas precipitadas que generan un mínimo de escorrentía, es decir, bajo episodios de lluvia de baja intensidad que son más sencillas de captar, retener y sobretodo de infiltrar en el terreno de forma progresiva hasta que el suelo comience a saturarse y no pueda hacerse cargo de más volumen del que infiltra. Se comienza a almacenar en sus depresiones y al exceder las alturas por acumulación de las lluvias, o en caso contrario, se produce una lluvia con mayor intensidad de lluvia con cuantías de precipitación superiores en un corto periodo de tiempo, entra el sistema convencional en funcionamiento.

Memoria

Estudio de Alternativas para la implantación de Sistemas de Drenaje Sostenible en el barrio de Ruzafa (Valencia)

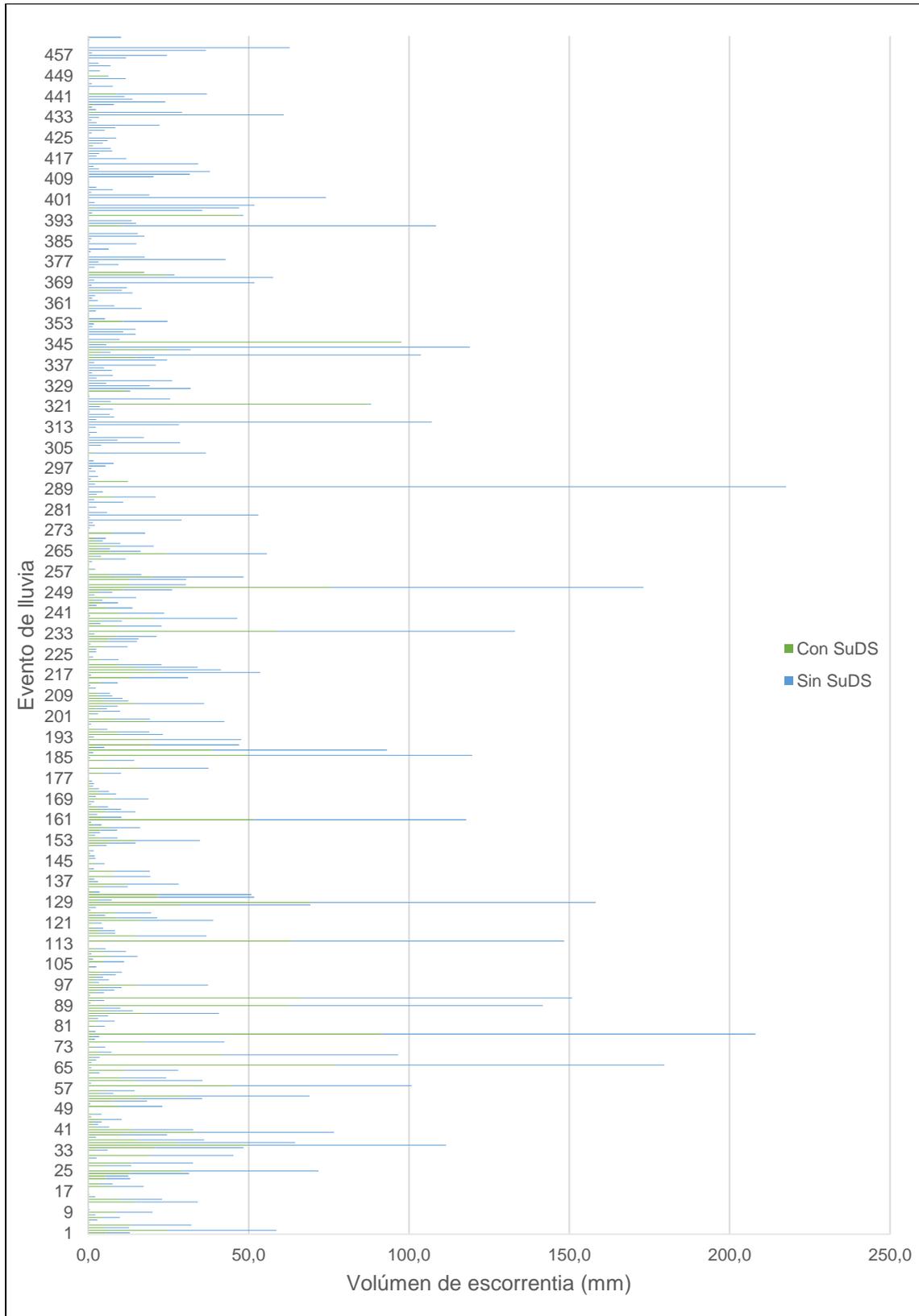


Gráfica 3. Mejora de la probabilidad de no excedencia de un evento de lluvia tras la incorporación del sistema de drenaje sostenible. Rango de volúmenes <100 mm.

En los apéndices 3, 5 y 7 se refieren los resultados obtenidos en ambas simulaciones así como los tratamientos estadísticos.

Memoria

Estudio de Alternativas para la implantación de Sistemas de Drenaje Sostenible en el barrio de Ruzafa (Valencia)



Gráfica 4. Diferencia de volúmenes producidos en la cuenca vertiente asociada a cada evento de la serie histórica de estudio.

10. Conclusión del estudio

Las conclusiones que se alcanzan con este estudio son:

- **Reducción de las escorrentías y caudal pico.** Los sistemas de drenaje sostenible se presentan como elementos basados en tecnología sencilla que combinados con la red de drenaje convencional son una alternativa eficiente frente al exceso de superficies selladas que incrementan cantidad y velocidad del agua que fluye por éstas durante y después de episodios de lluvia, sobretodo torrencial. Favorecen una mayor retención, detención e infiltración de las primeras aguas urbanas por el aumento de permeabilidad del suelo suponiendo una menor entrada de flujo en la red convencional. Con ello se consigue laminar los caudales punta que acoge dicha red, mitigar los problemas de inundación asociados a flujos excesivos de entrada en el sistema en periodos de retorno altos.

- **Disminución de la carga contaminante.** No solo se aprecian mejoras técnicas en el sistema de drenaje sino también se avanza en aspectos ambientales y sociales que antes no se consideraban. Por un lado, se minimiza el efecto “isla de calor” que padecen las ciudades suscitando un descenso de la temperatura y humedad ambiente. Por otro, el aumento de espacios verdes concede un valor añadido a la zona urbana donde se encuentra la cual experimenta cierta mejora en la calidad ambiental y en el entorno paisajístico. Mayor cuantía de vegetación favorece una constante limpieza del aire mediante los procesos metabólicos de las plantas, empleando el dióxido de carbono para su propio beneficio y en función del tipo de vegetación se produce más oxígeno y se disminuye la cantidad de gases contaminantes presentes en la atmósfera, traduciéndose en reducción de afecciones respiratorias.

A tener en cuenta que para lograr un eficiente tratamiento de las aguas urbanas y alcanzar la máxima mitigación de la carga contaminante asociada se puede estimar un índice de mitigación en función del contaminante (hidrocarburos, metales pesados y partículas en suspensión) y el tipo de SuDS. Mediante la siguiente expresión se puede calcular la mitigación total del elemento escogido:

$$\text{Índice de mitigación}_{\text{SuDS}} = I_{\text{PSS}} \cdot I_{\text{H}} \cdot I_{\text{M}}$$

donde:

I_{PSS} es el índice de mitigación de partículas suspendidas en el agua

I_{H} es el índice de mitigación de hidrocarburos

I_{M} es el índice de mitigación de metales pesados

Es importante que la mitigación del sistema de drenaje sostenible sea igual o mayor a la que se pretende tratar.

Memoria

Estudio de Alternativas para la implantación de Sistemas de Drenaje Sostenible en el barrio de Ruzafa (Valencia)

Tabla 7. Índice de mitigación en función del contaminante a tratar. Fuente: *The SuDS Manual*, 2015.

		Partículas en suspensión (I_{PSS})	Metales pesados (I_M)	Hidrocarburos (I_H)
Área de biorretención		0,8	0,8	0,8
Pavimento permeable		0,7	0,6	0,7
Zanja filtrante		0,5	0,5	0,6
Cubierta verde		0,2	0,2	0,05

- **Ahorro de costes.** Los SuDS suponen un aumento de la eficiencia energética en el ciclo integral del agua de una ciudad. Por un lado, las redes de saneamiento convencionales pueden ser diseñadas con menores dimensiones, es decir, bajo caudales punta de precipitaciones menores, que no acogerían volúmenes tan excesivos de escorrentía, lo que supondría un ahorro en construcción y sobretodo mantenimiento de las infraestructuras hidráulicas de la ciudad. De forma similar le ocurre a las estaciones depuradoras que también necesitaran una menor inversión de construcción y mantenimiento pues recibirán menor caudal a tratar y con inferior carga contaminante que reduce la necesidad de tratamiento antes de ser vertido al medio natural.

- **Requerimiento de una legislación específica.** No se impulsa de forma significativa el concepto “sistema de drenaje sostenible” dentro de la legislación estatal, excepto en algunas leyes autonómicas expuestas en el apartado 4 del anejo 4. La Administración Pública debe promover la creación de una normativa específica y recomendaciones técnicas que patrocinen el uso de SuDS con más fuerza, como ocurre en otros países europeos.

- **Necesidad de actualización de los sistemas actuales.** Es necesario modernizar la red convencional acorde con la nueva configuración para alcanzar un rendimiento óptimo del sistema integral del ciclo integral del agua urbano. Los criterios de diseño de una red convencional se quedan anticuados frente al planteamiento de implantación de un sistema de drenaje mixto dentro de una zona urbana. Anteriormente, se empleaban periodos de retorno demasiado elevados que sobredimensionaban las redes, con colectores de gran diámetro, para poder hacer frente a toda el agua de lluvia precipitada en superficie. Sin embargo, tras la incorporación de SuDS que favorecen la mitigación de caudales punta y disminución de volúmenes de escorrentía impulsan a replantearse el rediseño de estas redes. Esto supondrá un ahorro en costes de construcción y mantenimiento en estas redes.

- **Regeneración de la planificación urbanística.** Existe la necesidad de proponer un nuevo plan de actuación frente a las dificultades que van surgiendo dentro de las zonas urbanas por la transformación continua del entorno por parte del hombre. En las últimas décadas se le ha presentado al mundo de la ingeniería la necesidad de emplearse a fondo para mejorar la eficacia de los sistemas de gestión de escorrentías basándose en los sistemas naturales, y no negarlos, reemplazarlos o ignorarlos. Esto se demuestra que genera más problemas (impermeabilización

Memoria

Estudio de Alternativas para la implantación de Sistemas de Drenaje Sostenible en el barrio de Ruzafa (Valencia)

y suelos, contaminación de acuíferos, emisión de gases contaminantes,...) que aquellos que se pretenden corregir.

El desarrollo de las ciudades debe identificar de forma exhaustiva todo el sistema de gestión de agua, tanto natural como hecho por el hombre, para encontrar un equilibrio entre ambos. No solo es importante la construcción de nuevas infraestructuras o acondicionar las ya existentes, también se necesita estudiar y tratar de solucionar los factores desencadenantes que influyen en la generación de dicho problema. Se deben resolver de forma conjunta empleando técnicas más sostenibles, que se parezcan lo máximo posible al comportamiento del medio natural o que lo alteren lo mínimo posible, como las técnicas SuDS. No solo es aplicar conocimientos de ingeniería, mediante acciones como aleccionar al ciudadano con programas de participación ciudadana donde éste conozca el problema de gestión del agua, y lo que acarrea un consumo excesivo e irresponsable del recurso ante una situación futura de escasez de recursos hídricos; intentar una recogida y reutilización de aguas pluviales más eficiente; o aumentar la limpieza y mantenimiento de los sistemas de colectores actuales, canales superficiales y de las propias calles para reducir la acumulación de contaminantes y así que éstos no sean arrastrados por las escorrentías, son algunas de las posibles medidas no estructurales que combinadas con las estructurales favorecerán "(...) un futuro donde poder desarrollarse el resto de nuestras cortas vidas(...)" (Woody Allen).

Valencia, Junio 2016

Autor del estudio

FDO.: Alicia Loro Cubel

