

Los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible y el nuevo paradigma del diseño de las calles verdes para la gestión de las aguas pluviales: Una propuesta para la ciudad histórica de Oviedo.

Sustainable Urban Drainage Systems and the new green streets design paradigm for stormwater management: A proposal for the historical city of Oviedo.

INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

N. Vallina¹, C. Costales-Campa¹, R. Fernández¹, F. Robleda-Alvarez¹, L.A. Sañudo-Fontaneda^{1,2}

¹ UOStormwater. Departamento de Construcción e Ingeniería de Fabricación, Universidad de Oviedo. Escuela Politécnica de Mieres, Asturias, España.

² Centre for Agroecology, Water and Resilience (CAWR), Coventry University, Ryton Gardens, Coventry, UK. sanudoluis@uniovi.es, teléfono: +34985458196.

Historial del artículo:

Recibido
29-05-2018
Aceptado
25-07-2018
Publicado
08-11-2018

Palabras Clave:
BMP
Infraestructura verde
Rehabilitación urbana
SUDS
WSUD.

Article history:

Received
29-05-2018
Accepted
25-07-2018
Available
08-11-2018

Keywords:
BMP
Green infrastructure
SUDS
Urban retrofitting
WSUD.

Resumen

Las ciudades están sometidas a inclemencias meteorológicas como inundaciones y sequías, cada vez con mayor frecuencia, debido al cambio climático. La acción del ser humano sobre el medioambiente ha incrementado dicho impacto, generando sensaciones de inseguridad e incomodidad en los ciudadanos. Debido a ello, se ha generado una sensación negativa hacia el agua de lluvia, apartándola de sus caminos naturales y haciéndola desaparecer de la vida de la ciudad. En los últimos años, se ha desarrollado una tendencia denominada Diseño Urbano Sensible al Agua (DUSA), que mediante el uso de los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS), ha cambiado el paradigma de la gestión del agua de lluvia, poniéndola de nuevo en valor. Este artículo introduce las bases de este cambio de paradigma a través del diseño de calles verdes, al mismo tiempo que muestra una propuesta desarrollada por la Universidad de Oviedo, de rehabilitación hidrológico-urbanística de dos grandes áreas de la ciudad de Oviedo, cuantificando el impacto de la aplicación de estas técnicas en la hidrología de esta histórica ciudad española. La reducción esperada en escorrentía superficial es de un 21,9% y en un 12,5% en las áreas de actuación proyectadas del Bulevar de Santuyano y el Campo San Francisco. Finalmente, la docencia en Universidad tiene un gran potencial de transferencia del conocimiento, como lo demuestra el resultado de este proyecto pionero en Europa.

Abstract

Cities are subjected to adverse weather conditions such as flooding and droughts which occur more frequently due to climate change. Anthropogenic influence on the environment has contributed to increment climate change effects, producing insecurity amongst the citizens and lack of amenity. In consequence, a negative approach to stormwater has been portrayed, taking stormwater away from the surface of urban environments. Water Sensitive Urban Design (WSUD) has arisen as a new paradigm to manage stormwater through Sustainable Urban Drainage Systems (SUDS), bringing value back to stormwater. This article introduces the bases to this change by using green streets design whilst showing a new proposal developed at the University of Oviedo. This proposal focuses on the hidrological and urban

retrofit of two large areas of the historical city of Oviedo, Spain, quantifying the impact of the design and potential implementation of SUDS techniques on the hydrology of the city. Runoff reduction values ranged from 12.5% in the Campo San Francisco up to 21.9% in the Santuyano's Boulevard. Furthermore, the impact of the teaching innovation project at the University of Oviedo, which is pioneering in Europe, has proven to have a great potential for knowledge transfer through the students' participation in this work.

1. Introducción

El proceso de urbanización en todo el mundo ha conllevado que el 54% de la población mundial viva en áreas urbanas según datos de las Naciones Unidas [1]. Este proceso de incremento de las actividades de urbanización ha propiciado un aumento crítico de la impermeabilización de los suelos urbanos debido a las diferentes actividades sobre el territorio [2]. Este proceso, junto a la creciente problemática del cambio climático, ha generado un escenario de extremos con fuertes inundaciones y sequías duraderas en todo el mundo [3]. La principal causa, no obstante, de esta problemática proviene de la interrupción del ciclo natural del agua en la ciudad, donde las carreteras, los aparcamientos, las cubiertas de los edificios y las aceras pavimentadas son las principales fuentes de impermeabilización de la "dermis urbana" [4]. Sin embargo, no solamente se generan los ya citados problemas, sino que además se produce un desarrollo importante de los procesos de degradación de los cauces naturales como ríos, arroyos y humedales, entre otros [5]. Además, los impactos económicos de los desastres asociados a las inundaciones han sido cuantificados como los de mayor envergadura en el mundo [6].

Investigaciones llevadas a cabo en los últimos años han demostrado que dicho proceso de degradación hidroecológica [7] tiene su eco en el aumento de la contaminación urbana, a través, principalmente, del fenómeno conocido como contaminación difusa [8]. La contaminación difusa hace referencia a un tipo de contaminación no puntual o específica, la cual puede incluir tanto los contaminantes presentes en la atmósfera y que hayan podido ser arrastrados por el agua de lluvia en su caída, como los contaminantes arrastrados por la escorrentía superficial producida por dicha agua de lluvia [9].

La Directiva Marco del Agua [10] representó un cambio hacia el nuevo paradigma de gestión del agua de lluvia en las ciudades y supuso un aumento del conocimiento y la exigencia de tratamiento de los contaminantes urbanos que llegaban a los cauces naturales de agua que atraviesan las ciudades. Entre los contaminantes más comunes que se pueden encontrar en la escorrentía urbana están los siguientes [11]: sólidos en suspensión, metales pesados (Cd, Pb, Zn...), hidrocarburos y sus derivados, herbicidas y pesticidas, materia orgánica, nutrientes (N and P), coliformes fecales y productos farmacéuticos. Estos

últimos han aparecido como un nuevo contaminante en los últimos años [12].

Los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS), también conocidos como Stormwater Best Management Practices (BMPs) en los Estados Unidos de América [13] han alcanzado un alto nivel de implementación en todo el mundo. Una de las principales características que poseen los SUDS es su capacidad de reducir el caudal de escorrentía generada en un episodio pluviométrico, ya que no se limitan a recoger y transportar el agua, sino que actúan sobre la generación de la escorrentía, disminuyéndola en origen [14], existiendo otros SUDS especializados en la captación de la escorrentía, en su transporte o en su infiltración [15]. Estos sistemas ofrecen una amplia gama de técnicas de drenaje que, distribuidas de manera óptima, tienen el potencial de convertir la zona de actuación urbana en un paisaje verde agradable al ciudadano, donde la calidad de vida aumenta considerablemente [16].

La investigación aplicada que se describe en este artículo es el fruto de un trabajo de innovación docente, pionero en Europa, llevado a cabo en la Universidad de Oviedo [17], mediante el cual, estudiantes del Máster en Ingeniería Civil forman un equipo de diseño de SUDS para participar en dos concursos de ideas internacionales para dar respuesta a problemas urbanos de la ciudad de Oviedo [18].

La investigación, que se divide en el desarrollo de 2 proyectos, persigue la necesidad de la rehabilitación de dos amplias zonas de la histórica ciudad de Oviedo: el Bulevar de San Julián de los Prados/Santuyano y el Campo San Francisco y su entorno urbano. Ambas zonas no poseen, en la actualidad, un uso eficiente del sistema del drenaje y del agua de precipitación recogida en la zona. Además, los vehículos propulsados con combustibles fósiles que circulan por la zona presentan el 35% de la contaminación ambiental de la ciudad y se vienen superando los límites establecidos por la Unión Europea en materia de dióxido de nitrógeno y partículas en suspensión *PM10*. [19] demostraron que el uso de SUDS pueden reducir considerablemente las partículas en suspensión *PM10* arrastradas por el agua de lluvia. Por ello, se ha llevado a cabo un estudio urbanístico de mejora del drenaje y del tráfico de ambas zonas de estudio, en base a un desarrollo sostenible, por medio de SUDS.

2. Metodología

2.1 Localización y características climáticas para el caso de estudio: Oviedo (España)

Las dos áreas de actuación de esta investigación son conocidas como Bulevar de San Julián de los Prados/Santuyano y El Campo de San Francisco, ambas en la ciudad asturiana de Oviedo (**Figura 1**), en el Noroeste de la Península Ibérica. Ambas zonas tienen unas características muy definidas y responden a patrones urbanísticos diferenciados. Este amplio rango permite analizar el impacto de los SUDS cuando se aplican sobre áreas más o menos consolidadas dentro de una ciudad, en la que, además, se tiene en cuenta el impacto sobre los edificios y áreas históricas.



Figura 1 Zonas propuestas para la intervención futura en la ciudad de Oviedo, Asturias (España). Fuente: Google Maps.

El área de estudio tiene un total de 80,23ha para el Bulevar de Santuyano y 7,38ha en el caso del Campo San Francisco, como se puede ver en la **Figura 1**. Se trata, por tanto, de zonas de intervención de gran tamaño, sobre todo en el caso del Bulevar de Santuyano.

Oviedo tiene una categoría climática *Cfb* según la clasificación de Köppen-Geiger para los climas del mundo [20]. Esto significa que la ciudad pertenece al dominio templado-frío oceánico con una nubosidad y humedad altas y un verano cálido. La temperatura media es de 14°C y la precipitación anual está en el entorno de 1000 mm, lo que representa un patrón de lluvias elevado en la España peninsular. La presencia cercana del Mar Cantábrico y de la Cordillera Cantábrica afectan la climatología de la ciudad.

2.2 Propuesta de intervención urbana

El planteamiento realizado para el espacio público de Oviedo se ha centrado en una serie de pilares fundamentales. Por un lado, la propuesta ha tratado de aportar un protagonismo central a la conexión de espacios públicos históricos dentro de la ciudad, llevando a cabo una rehabilitación integral, con el objetivo de transformarla y adecuarla a las necesidades crecientes en la Europa del siglo XXI. Dicha Europa requiere el diseño e implantación de soluciones basadas en la naturaleza (Nature Based Solutions en literatura anglosajona – NBS) [21]. La propuesta desarrollada en el presente artículo en este artículo contiene los proyectos realizados con motivo de dos concursos internacionales de ideas organizados por la ciudad de Oviedo, tal y como se mencionaba en la introducción. Dichos proyectos se centraron en la “Renovación del espacio público Bulevar de San Julián de los Prados/Santuyano” y en el desarrollo de la “Movilidad sostenible y mejora de la calidad del espacio público en el entorno del Campo de San Francisco”. El equipo investigador de la Universidad de Oviedo propuso la inclusión de infraestructura verde, mediante el diseño de SUDS, de forma que se integren las crecientes exigencias de la Unión Europea dentro del nuevo urbanismo del siglo XXI en ciudades históricas. Los SUDS aportan una mayor seguridad en los alrededores de los principales enclaves turísticos, cediendo la importancia necesaria al conjunto del patrimonio histórico de la ciudad. Un buen ejemplo de ello es el pulmón verde de la urbe asturiana, el denominado Campo San Francisco, así como el entorno de la iglesia prerrománica de San Julián de los Prados o la Plaza de la Escandalera, en pleno centro neurálgico de la ciudad ovetense.

Las tipologías SUDS proyectadas en ambas zonas de estudio son las siguientes:

Pavimento permeable: se trata de una estructura de pavimento (continua o modular) que permite la infiltración del agua a través de todas sus capas, pudiendo ser resistente al tráfico o no. Esta agua puede ser infiltrada al terreno o captada y retenida para su posterior reutilización y evacuación. Además de ofrecer un acabado y una resistencia adecuados a su localización y uso, debe asegurar la captación de la intensidad de lluvia de diseño. El agua atraviesa la superficie permeable hasta la capa inferior que sirve de reserva, atenuando las puntas del flujo de escorrentía superficial y tratando los contaminantes presentes en la escorrentía superficial. La estructura diseñada para el pavimento permeable consta de una sub-base de material calizo con un tamaño máximo de árido entre 20 y 40 mm, una capa de base de entre 4 y 6 mm y una capa de superficie de adoquín antideslizante impermeable en disposición permeable (**Figura 2**).



Figura 2 Detalle del pavimento permeable diseñado para el Paseo del Bombé en el Campo San Francisco. Fuente: elaboración propia.

Depósitos de infiltración: depresiones permeables en el terreno o embalses poco profundos que se diseñan para almacenar e infiltrar gradualmente la escorrentía generada en las cuencas adyacentes de tamaño considerable, hasta que se produce su infiltración al terreno al cabo del tiempo. Tienen capacidad para tratar los contaminantes presentes y para minimizar los efectos de la contaminación térmica sobre los medios receptores, pues el agua se templea con el ambiente antes de ser vertida.

La propuesta se basa, por tanto, en la inclusión de estos SUDS en puntos clave urbanos, en los que, gracias a la instalación de estas técnicas en lugares centrales y estratégicos como parques, plazas o aparcamientos para vehículos ligeros, permitiría la captación segura de agua de lluvia, almacenándola para su posterior reutilización o infiltrándola para recargar el acuífero superior de Oviedo. Con esta actuación se logra una mejora considerable de la movilidad, tanto peatonal como rodada, permitiendo el tránsito de viandantes mediante la eliminación de charcos, lo que apoya la realización segura de talleres ciudadanos culturales y la colocación de casetas, entre otras actividades ciudadanas.

Son conocidos los innumerables problemas existentes a lo largo de la ciudad por la presencia de charcos y escorrentías, que ponen en peligro la seguridad vial y peatonal, tanto a nivel individual como colectivo. Es por ello que, aprovechando la mala situación actual del firme en ciertos puntos de la ciudad, se proyecta su levantamiento y la incorporación de infraestructura verde en zonas que puedan resultar claves, como el Paseo del Bombé (**Figura 3**) o en aparcamientos disuasorios situados en las inmediaciones del futuro Bulevar de Santuyano (**Figura 4**), los cuales pueden funcionar para evitar el tráfico de vehículos en el casco histórico de la capital asturiana.



Figura 3 Zona de aplicación del sistema de firme permeable para el Paseo del Bombé, en el Campo San Francisco. Fuente: Google Maps.



Figura 4 Zona de aplicación del sistema de los depósitos de infiltración para el Bulevar de Santuyano. Fuente: Google Maps.

2.3 Análisis hidrológico de las zonas de actuación propuestas

El patrón de precipitaciones en Oviedo está caracterizada por eventos de lluvia largos y de baja intensidad, aunque pueden darse fenómenos climatológicos con mayores intensidades y duraciones cortas. Para el análisis de los datos de precipitaciones se ha utilizado la Estación Pluviométrica de Oviedo “El Cristo” con código 1249X, tomando datos desde 1973, basándose en datos previos analizados por Pérez Martínez [22].

Se han seleccionado 3 periodos de retorno, comúnmente utilizados en diseños de drenaje urbano convencional en Europa (2, 5 y 10 años). Los datos de precipitaciones medias diarias de la estación previamente mencionada se refinaron utilizando una distribución Gumbel, según el monográfico “Máximas lluvias diarias en la España peninsular” [23], asociado a la Norma I.C-5.2. [24].

Como resultado de esos cálculos, se obtuvieron los siguientes valores de precipitaciones máximas diarias en Oviedo, como puede verse en la **Tabla 1**.

Tabla 1 Precipitaciones máximas diarias según el periodo de retorno.

Periodo de retorno (años)	Precipitación máxima diaria según distribución Gumbel (mm)
2	50,66
5	66,94
10	79,10

Además de las precipitaciones máximas diarias, para determinar el volumen de escorrentía se crean cuencas discretizadas en las dos zonas de objeto de estudio, para determinar el coeficiente de escorrentía de cada una de ellas. En el bulevar de Santuyano, debido a su gran extensión, se identifican un total de 4 cuencas vertientes (**Tabla 2**). Por otro lado, el Campo San Francisco se discretiza en una única cuenca, puesto que el interés reside en la aplicación de SUDS en el Paseo del Bombé, sitio en la parte alta del parque (**Tabla 2**).

Tabla 2 Características de las cuencas vertientes discretizadas para el presente estudio.

Zona de estudio	Cuenca nº	Longitud (m)	Área total (ha)	Coefficiente de escorrentía
Bulevar de Santuyano	1	404	13,59	0,990
	2	505	25,20	0,989
	3	620	23,97	0,989
	4	712	17,48	0,990
Campo San Francisco	5	376	7,38	0,992

De las características de las cuencas destaca el alto grado de impermeabilidad, por lo que el empleo de SUDS en ambas cuencas permitiría mejorar las condiciones hidrológicas de dichas cuencas, recuperando parte del funcionamiento natural perdido durante el proceso de urbanización. Por último, calculado el volumen de lluvia y conocidas las cuencas, se determina el porcentaje de lluvia que permiten gestionar los SUDS.

De esta manera, siguiendo esta metodología, a través de la normativa IC-5.2 [24] se puede medir el impacto hidrológico del antes y el después de la posible implementación de esta estrategia urbana basada en el cambio de paradigma de la gestión del agua de lluvia mediante SUDS.

2.4 Otras metodologías empleadas

Además de los SUDS, el equipo investigador se ha apoyado en otras técnicas de ingeniería civil, arquitectura y urbanismo para potenciar, aún más, el impacto de la infraestructura verde y del cambio de paradigma propuesto. En consecuencia, se ha tenido en cuenta un diagnóstico profundo de la ciudad ovetense donde, en la actualidad, tal y como se menciona en el Plan de Movilidad Urbana Sostenible (PMUS), existe una demanda generalizada del transporte público [25]. Los espacios en el centro de la ciudad son reducidos y el tráfico rodado de vehículos interfiere en el confort del ciudadano, reforzando el uso de transporte urbano, el cual presenta, además, un alto nivel de satisfacción entre sus usuarios, tanto en frecuencias, como en limpieza y modernidad de la flota. No obstante, la presente actuación busca representar el cambio hacia una ciudad más verde y ecológica, integrada y concienciada con el transporte sostenible. El cambio se debe basar, por tanto, en este tipo de medios, aportando una mayor seguridad, tanto para el peatón, como para el usuario de la red de transporte urbano.

Los problemas de congestión de la ciudad se originan principalmente por el aumento significativo de la movilidad en vehículo privado que se ha producido en la misma durante estos últimos años. Por lo que se debe buscar una solución que trate de aprovechar al máximo el uso de todos los modos de transporte, buscando garantizar la movilidad en base al corazón de la ciudad, el Campo San Francisco, la descongestión del centro, la protección del patrimonio cultural, en especial la iglesia de Santuyano, muy castigada por la presencia de la actual autopista de entrada a la capital asturiana (A-66a), que transcurre a escasos metros de dicha iglesia, y la potenciación de la calidad y seguridad de los peatones.

Para la correcta interpretación de la situación actual se han llevado a cabo precisos aforos en la totalidad de las calles de la ronda interior de la ciudad, en la autopista A-66a — principal entrada y salida de Oviedo, origen de la buscada transformación — y en diversas vías de especial interés. La campaña de aforos se realizó durante el mes de febrero de 2018, centrándose de manera muy especial en los horarios punta de tráfico y dividiendo el estudio entre vehículos pesados, vehículos de transporte público y vehículos ligeros de particulares. Para este estudio se utilizó el Manual de Capacidad de Carreteras [26].



Como base y elemento de apoyo a los cálculos, se ha contado con los aforos realizados en el año 2012, recogidos en el PMUS, teniendo en cuenta que han sido tomados adecuadamente y que sus datos reflejan perfectamente la realidad existente en la fecha de muestra.

Además, de forma añadida a la campaña de aforos realizada, se han tenido en cuenta la totalidad de las actuaciones realizadas en la ciudad de Oviedo y alrededores, así como cambios circunstanciales en la población, parámetros importantes o detalles técnicos que hayan podido incidir o modificar, en mayor o menor medida, los valores prefijados una vez realizada la campaña. En definitiva, variables que puedan aportar un distintivo importante a la hora de realizar las diversas actuaciones proyectadas para el futuro. Situaciones como la apertura de nuevos aparcamientos en el entorno del centro urbano, cambio y creación del nuevo Hospital Universitario Central de Asturias (HUCA), el crecimiento de los barrios periféricos o la variación del número de usuarios del transporte y del vehículo privado, son factores que han resultado fundamentales para entender el correcto funcionamiento del sistema de la ciudad y buscar una solución óptima.

Para la realización del estudio, se analizó tanto la situación actual como la futura, que según la Norma I.C-3.1 [27] se consideró una previsión límite hasta el año horizonte del proyecto, eligiéndose como tal el posterior en 15 años de la fecha de entrada en servicio del vial, el año 2034. Con los parámetros marcados se puede saber que las vías del entorno del parque poseen un índice comprendido entre 5.000 y 20.000 vehículos por día, tratándose de unas intensidades relativamente elevadas en función de sus características físicas.

Con el estudio finalizado, se propusieron las medidas a proyectar para la mejora de las características actuales de tráfico. La propuesta para los concursos de ideas mantendrá la esencia ovetense, consiguiendo la búsqueda potenciación de los itinerarios peatonales y fomentando el uso del transporte público y la bicicleta. El incremento de zonas de infraestructura verde, la amplia presencia de árboles y la creación de parterres verdes con vegetación aportarán la sensación de naturaleza y belleza que necesitaba la ciudad.

La reducción de carriles en algunos tramos, la peatonalización de otros y la eliminación de aparcamientos no hará más que potenciar el uso del transporte público, reducir la intensidad media de vehículos y mejorar la circulación interior de Oviedo. Por último, se propone la implantación de un carril bici perimetral para el Campo San Francisco, que recorra las principales calles que lo delimitan y permitiendo la unión con

otras redes que se espera que tengan continuidad en base al presente proyecto.

3. Resultados y Discusión

3.1 Impacto hidrológico de la intervención propuesta

Para determinar el impacto hidrológico de la intervención propuesta, se calculan los volúmenes de lluvia para un aguacero de 60 minutos y con periodo de retorno 10 años, comparando estos con el volumen que podrían llegar a almacenar los SUDS y determinando qué porcentaje de agua permiten gestionar. La razón para seleccionar este periodo de retorno y la duración del aguacero se basa en la utilización de los valores extremos de diseño.

Los cálculos hidrológicos se llevan a cabo empleando la norma 5.2-[24]. En primer lugar, se determina la precipitación diaria máxima, $P_m = 55 \text{ mm}$, y el coeficiente de variación, $C_v = 0,35$. Posteriormente, se calculan los coeficientes de escorrentía en las cuencas urbanas que destacan por estar muy próximas a 1, por lo que indica el alto grado de impermeabilización existente en el entorno urbano. Con estos valores, añadidos a la medición de las cuencas en el Bulevar de Santuyano y en el Campo San Francisco se obtienen los caudales de diseño con periodo de retorno igual a 10 años (Q_{10} en **Tabla 3**).

Tabla 3 Caudales de diseño obtenidos para periodo de retorno de 10 años.

Zona de estudio	Q_{10} (m ³ /s)
Bulevar de Santuyano	10,50
Campo San Francisco	0,94

Conocidos los Q_{10} y suponiendo una duración de aguacero de 60 min, se pueden determinar los volúmenes de lluvia que son el objeto de estudio, puesto que sirven para determinar el porcentaje de la lluvia gestionada por los SUDS, permitiendo reducir la escorrentía y reutilizar el agua para riego de los parques. Por tanto, a la hora de gestionar las aguas correspondientes a las zonas de actuación descritas anteriormente, se obtienen los siguientes resultados:

- La actuación en el entorno del Campo San Francisco mediante el empleo de SUDS en el Paseo del Bombé permite gestionar y almacenar el 12,5% de las aguas para el aguacero supuesto.
- En el entorno del Bulevar de Santuyano, la instalación de SUDS en el parque urbano, permite gestionar y almacenar el 21,9 % del agua de escorrentía para el aguacero supuesto.

3.2 Impacto social

El impacto social se centra en la creación de espacios multifuncionales que son capaces de reducir los problemas de inundaciones, de contribuir al ahorro de agua potable para el riego de parques y el baldeo de calles, y de mejorar las condiciones de vida de los ciudadanos mediante el desarrollo de áreas destinadas a actividades culturales.

Una buena muestra de ello es la creación de espacios abiertos o grandes plazas que simulan las ágoras que funcionaban como espacios de reunión y cultura en las antiguas civilizaciones europeas. Como puede verse en la **Figura 5**, la Plaza de la Escandalera presenta elementos multifuncionales de recreo y su paisaje varía considerablemente gracias a la presencia de infraestructura verde y de diseños arquitectónicos que conectan el parque del Campo San Francisco con la propia plaza. Esto cumple con objetivos sociales fundamentales como los descritos por Lerer et al. [28], entre los que destacan los siguientes: históricos, sociales, estéticos y morales, estando todos ellos relacionados con la gestión del agua de lluvia.



Figura 5 Vista panorámica del diseño de la Plaza de la Escandalera con el Campo San Francisco de fondo. Fuente: elaboración propia.

El aumento de superficies de adoquinado antideslizante mejora la calidad del contacto de los viandantes con las superficies, haciendo los paseos más confortables. Además, la presencia de infraestructura verde reduce la temperatura en el centro de la ciudad, disminuyendo el impacto del efecto de isla de calor.

Un estudio realizado sobre el mantenimiento llevado a cabo en la actualidad en la ciudad de Oviedo, demuestra que la implementación de las técnicas SUDS propuestas en ambas zonas de estudio, no aumentará las necesidades de mantenimiento ni la adquisición de maquinaria específica de mayor coste. Por lo tanto, el impacto económico de este tipo de

medidas es muy positivo a largo plazo, y como ha venido a demostrar la investigación de Ossa-Moreno et al. [29] para su trabajo aplicado en la ciudad de Londres, incluye beneficios más amplios como el incremento del valor de las propiedades adyacentes, la reducción del gasto de agua potable y energético, así como la reducción de los impactos económicos debidos a los desastres naturales causados por el agua.

Además, la creación de un carril bici perimetral en el entorno del Campo de San Francisco, favorece y potencia el uso de la bicicleta, conjuntamente con una futura conexión con otros carriles ciclistas que vertebran la vetusta ciudad (**Figura 6**). Por último, la peatonalización de calles y plazas permite dar la deseada continuidad peatonal entre el parque y su entorno que, junto con la instalación de infraestructura verde —siguiendo la línea de desarrollo sostenible y reutilización de los recursos naturales establecida a nivel europeo—, otorga a la ciudad de Oviedo un nivel más alto de urbanismo y movilidad sostenible (**Figura 6**). Todas estas medidas adoptadas e impactos medibles han sido fruto de un proceso de participación ciudadana que ha ido recogiendo las necesidades detectadas por la ciudadanía de Oviedo.

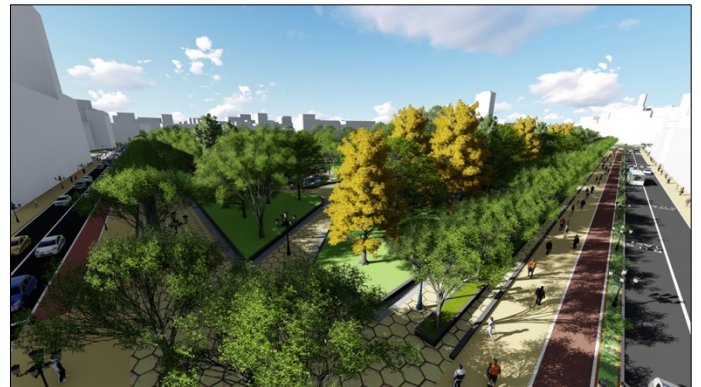


Figura 6 Carril bici perimetral (en color rojo) circundando el Campo San Francisco. Fuente: elaboración propia.

3.3 Otros impactos asociados

La actuación no se centra únicamente en los puntos mencionados anteriormente, sino que se espera una serie de impactos asociados en base a la actuación propuesta

La mejora del tráfico resulta más que evidente al realizar el cálculo de las intensidades medias diarias del antes y el después de la intervención propuesta, de la misma manera que se ha hecho con la situación actual, pero para el año horizonte fijado. Un ejemplo de los resultados puede ser consultado en la siguiente figura (**Figura 7**).

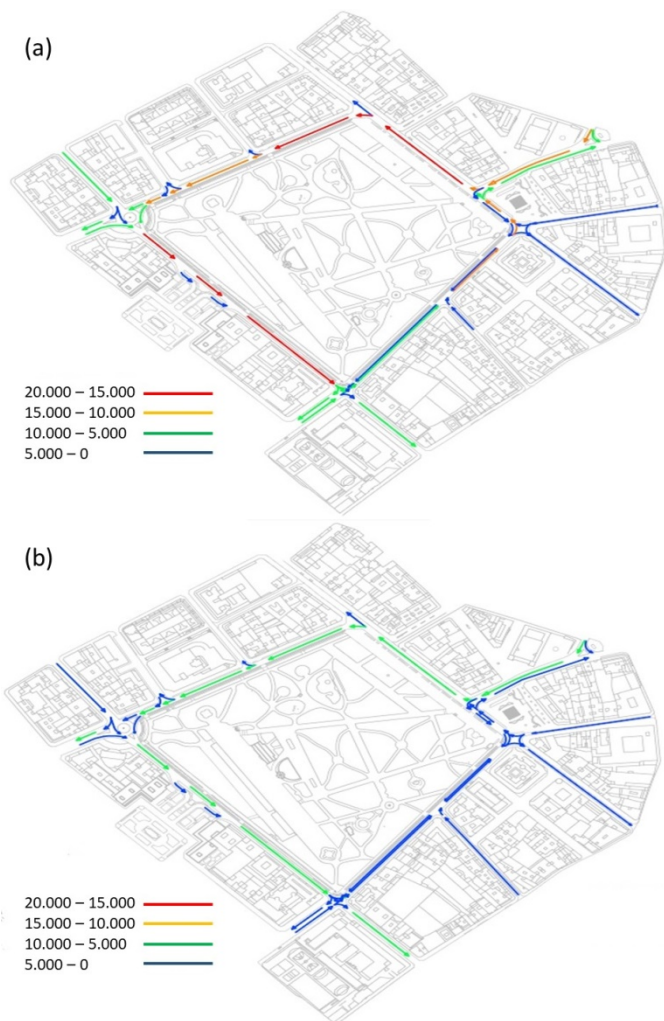


Figura 7 (a) Intensidad Media Diaria actual del tráfico rodado en los alrededores del Campo de San Francisco, y **(b)** la reducción esperada tras las actuaciones proyectadas en ambas zonas de estudio. Fuente: elaboración propia.

Los impactos analizados que sería posible que acaciesen sobre la ciudad de Oviedo (Asturias, España) se dividen en directo, indirecto y, por último, inducido. El impacto directo se corresponde al despliegue de la nueva infraestructura, donde se engloba una zona de actuación emplazado en la periferia y centro del Campo San Francisco de la ciudad de Oviedo. Por otro lado, el impacto indirecto se corresponde con los empleos generados a raíz de la inversión efectuada, donde se prevé que los comercios locales y grandes superficies presentes en la zona se vean beneficiados, al haber un mayor tránsito peatonal por las calles del centro de la ciudad, lo que fomenta su papel en la economía local. Por último, el impacto económico inducido se corresponde con el empleo generado a raíz del consumo de los bienes y servicios habiéndose realizado la actuación, que

también ser verían incrementados, aproximadamente, en la misma medida que en el caso del impacto indirecto, al promover la presencia ciudadana en el ámbito de actuación, una vez se hayan terminado de ejecutar el planteamiento propuesto.

En lo relativo al impacto ambiental y acústico, junto con el estudio relacionado con la gestión de los residuos que recibiría la ciudad de Oviedo, muestra una situación que sería diversa en estos casos. El impacto ambiental previsto se estima notoriamente reducido, pues la actuación no generaría ningún tipo de impacto severo sobre el medio, aunque éste sea de gran calado para Oviedo y sus ciudadanos.

La ejecución de esta idea busca disminuir el uso en el consumo de los recursos naturales necesarios para llevar a cabo la idea, así como también el número de materias primas empleadas. Por otro lado, la gestión de los residuos se trata de un elemento relevante dentro de la ejecución y planificación de la obra, dentro de la cual se prevé su gestión, sus gestores y los métodos requeridos para que el número de residuos generados no se convierta en un problema medioambiental. Asimismo, se ha buscado en todo momento la reducción de los costes económicos relacionados, mediante los principios básicos del reciclaje y utilización dentro de la propia obra y su planificación, cuidada hasta el más mínimo detalle, lo que ha redundado también en la obtención de un presupuesto de ejecución material asumible por la ciudad. Finalmente, se ha contado con una mejora en la gestión ambiental de la organización, de manera que el control de los residuos generados, su reducción, y también su aprovechamiento, se encontrará dentro de los límites legales, medioambientales y funcionales.

4. Conclusiones

Los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible producen un cambio de paradigma en la gestión del agua de lluvia urbana, generando, además, impactos que van más allá de la gestión sostenible de las inundaciones. Entre esos impactos se encuentran la reducción de materiales contaminantes en las obras de construcción y rehabilitación, la reducción de los contaminantes presentes en la escorrentía urbana, la mejora de las condiciones de vida de los ciudadanos y la mejora de la biodiversidad en el centro de las ciudades.

La propuesta realizada por el equipo investigador y centrada en las áreas de actuación del Bulevar de Santuyano y el Campo San Francisco, contribuye a reducir en un 21,9% y en un 12,5%, respectivamente, la escorrentía, reduciendo las posibilidades de inundaciones bajo las condiciones de cambio climático.



La docencia en Universidad tiene un gran potencial de transferencia del conocimiento, como lo demuestra el resultado de este proyecto pionero en Europa, el cual protagonizan estudiantes del Máster en Ingeniería Civil de la Universidad de Oviedo, participando en los concursos internacionales de rehabilitación urbana de la ciudad de Oviedo [30].

5. Agradecimientos:

Los autores agradecen el financiamiento de la Universidad de Oviedo para el desarrollo del University of Oviedo Stormwater Engineering Research Team (UOStormwater) a través del proyecto con referencia PAPI-17-PEMERG-22 y del Instituto Universitario de Tecnología Industrial de Asturias (IUTA) a través del proyecto con acrónimo Idea_SuDS y referencia SV-18-GIJÓN-1-23. De la misma forma, los autores quieren agradecer de manera especial a la Fundación de la Universidad de Oviedo (FUO) por el apoyo recibido para participar en los Concurso de Ideas Internacionales, y al Máster Universitario en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos y la Escuela Politécnica de Mieres de la Universidad de Oviedo por su apoyo.

6. Referencias

- [1] Adyel, T.M., Oldham, C.E., Hipsey, M.R. (2016). Stormwater nutrient attenuation in a constructed wetland with alternating surface and subsurface flow pathways: Event to annual dynamics. *Water Research* 107, 66-82.
- [2] AEMET (2018). Iberian Climate Areas. Disponible online: <http://www.aemet.es/documentos/es/conocerlas/publicaciones/Atlas-climatologico/Atlas.pdf>. (Accedido el 27 de mayo 2018).
- [3] Ayuntamiento de Oviedo (2018). Plan Movilidad Urbana Sostenible. Disponible online: <http://www.oviedo.es/plan-movilidad-urbana-sostenible>. (Accedido el 27 de mayo de 2018).
- [4] BOE (2017). Anuncio del Ayuntamiento de Oviedo por el que se convoca concurso de ideas (anteproyectos) para la renovación del espacio público "Bulevar de San Julián de los Prados/Santuyano". BOE del 15 de julio de 2017. Disponible online: https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-B-2017-44012. (Accedido el 27 de mayo 2018).
- [5] BOE (2018). Anuncio del Ayuntamiento de Oviedo por el que se convoca concurso de ideas (anteproyecto) para mejorar la movilidad urbana y la calidad del espacio público en torno al "Campo de San Francisco". BOE del 22 de enero de 2018. Disponible online: <https://www.boe.es/boe/dias/2018/01/22/pdfs/BOE-B-2018-3809.pdf>. (Accedido el 27 de mayo 2018).
- [6] Brezonik, P.L., Stadelmann, T.H. (2002). Analysis and predictive models of stormwater runoff volumes, loads, and pollutant concentrations from watersheds in the Twin Cities metropolitan area, Minnesota, USA. *Water Research* 36(7), 1743-1757.
- [7] Comisión Europea (2014). Construir una infraestructura verde para Europa. Unión Europea, Medio Ambiente. ISBN 978-92-79-39996-1.
- [8] Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy.
- [9] Fletcher, T.D., Shuster, W., Hunt, W.F., Ashley, R., Butler, D., Arthur, S., Trowsdale, S., Barraud, S., Semadeni-Davies, A., Bertrand-Krajewski, J.-L., Mikkelsen, P.S., Rivard, G., Uhl, M., Dagenais, D., Viklander, M. (2015) SUDS, LID, BMPs, WSUD and more – The evolution and application of terminology surrounding urban drainage. *s 12(7)*, 525-542.
- [10] Fresno, D.C., Bayón, J.R., Hernández, J.R., Muñoz, F.B. (2005). Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS). *Interciencia* 30(5), 255-260+306-308.
- [11] Lashford, C., Charlesworth, S., Warwick, F., Blackett, M. (2014). Deconstructing the sustainable drainage management train in terms of water quantity - preliminary results for coventry, UK. *Clean - Soil, Air, Water* 42(2), 187-192.
- [12] Lerer, S.M., Arnbjerg-Nielsen, K., Mikelsen, P.S. (2015). A Mapping of Tools for Informing Water Sensitive Urban Design Planning Decisions—Questions, Aspects and Context Sensitivity. *Water* 2015, 7(3), 993-1012.
- [13] Merz, B., Kreibich, H., Schwarze, R., Thielen, A. (2010). Review article "assessment of economic flood damage". *Natural Hazards and Earth System Science* 10(8), 1697-1724.
- [14] Ministerio de Fomento (1999). Máximas lluvias diarias en la España Peninsular. Serie Monografías. Dirección General de Carreteras. Secretaría de Estado de Infraestructuras y Transportes Dirección General de Carreteras.
- [15] Ministerio de Fomento (2016a). Orden FOM/298/2016, de 15 de febrero, por la que se aprueba la norma 5.2 - IC drenaje superficial de la Instrucción de Carreteras. Gobierno de España.
- [16] Ministerio de Fomento (2016b). Orden FOM/273/2016, de 19 de febrero, por la que se aprueba la Norma 3.1- IC Trazado, de la Instrucción de Carreteras. Gobierno de España.
- [17] Mitchell, G. (2005). Mapping hazard from urban non-point pollution: A screening model to support sustainable urban drainage planning. *Journal of Environmental Management* 74(1), 1-9.
- [18] Ossa-Moreno, J., Smith, K.M., Mijic, A. (2017). Economic analysis of wider benefits to facilitate SuDS uptake in London, UK. *Sustainable Cities and Society* 28, 411-419.



- [21] O'Sullivan, A.D., Wicke, D., Hengen, T.J., Sieverding, H.L., Stone, J.J. (2015). Life Cycle Assessment modelling of stormwater treatment systems. *Journal of Environmental Management* 149, 236-244.
- [22] Page, J.L., Winston, R.J., Mayes, D.B., Perrin, C., Hunt, W.F. (2015). Retrofitting with innovative stormwater control measures: Hydrologic mitigation of impervious cover in the municipal right-of-way, *Journal of Hydrology* 527, 923-932.
- [23] Pérez Martínez, L. (2017). Infraestructura verde en ambientes urbanos. Revisión y aplicación práctica al Campo San Francisco de Oviedo. Trabajo Fin de Grado, Universidad de Oviedo. Julio 2017.
- [24] Romana, M., Nuñez, M., Martínez, J.M., Díez de Arizaleta, R. (2010). Manual de Capacidad de Carreteras – HCM 2010. FC EDITORIAL; 1ª Edición. ISBN-10: 8416671192. 1168 pp.
- [25] Rushton, B.T. (2001). Low-impact parking lot design reduces runoff and pollutant loads. *J. Water Resour. Plann. Manage.*, 127(3), 172-179.
- [26] Sañudo-Fontaneda, L.A., Alvarez-Rabanal, F.P., Alonso-Martinez, M., Martín-Rodríguez, A., del Coz-Díaz, J.J. (2017). Impacto de tribunales externos multidisciplinares en el proceso de enseñanza-aprendizaje en estudios de Máster en Ingeniería. Congreso Universitario de Innovación Educativa en las Enseñanzas Técnicas (CUIEET 2017). 5-8 septiembre, Badajoz, España.
- [27] Sañudo-Fontaneda, L.A., Anderson, A.R., Hunt, W.F. (2018). Green Streets: The opportunity to design resilient stormwater management in the cities of the future. In the book: *Stormwater: sources, monitoring and management*. NOCA SCIENCES. Book chapter in press.
- [28] Schueler, T.R., Fraley-McNeal, L., and Capiella, K. (2009). Is impervious cover still important? Review of recent research. *J. of Hydrologic Engineering*. 14, 309-315.
- [29] United Nations. (2015). "World Urbanization Prospects: The 2014 Revision", Report ST/ESA/SER.A/366, Department of Economic and Social Affairs, Population Division, United Nations, New York, New York.
- [30] Verlicchi, P., Al Aukidy, M., Zambello, E. (2012). Occurrence of pharmaceutical compounds in urban wastewater: Removal, mass load and environmental risk after a secondary treatment-A review. *Science of the Total Environment* 429, 123-155.
- [31] Walsh, C.J., Fletcher, T.D., Burns, M.J. (2012). Urban Stormwater Runoff: A New Class of Environmental Flow Problem. *PLoS ONE* 7(9), e45814. Open Access.
- [32] Willems, P., Arnbjerg-Nielsen, K., Olsson, J., and Nguyen, V.T.V. (2011). Climate change impact assessment on urban rainfall extremes and urban drainage: Methods and shortcomings. *Atmospheric Research* 103, 106-118.