

«SISTEMAS URBANOS DE DRENAJE SOSTENIBLE (SUDS) Y SU DESARROLLO E IMPLANTACIÓN EN LA CIUDAD DE CÓRDOBA»

por

Rafael Marín Galván⁽¹⁾, EMACSA y Director de la Cátedra EMACSA,
Sara Perales Momparlet, Green Blue Management-Grupo TYPESA,
Antonio Lastra de la Rubia, Canal de Isabel II-Madrid,
Manuel de Pazos Liaño, Ayuntamiento de Madrid, y
Ángel Mena Miranda, EMASESA

⁽¹⁾Contacto: rmargal@emacsa.es ; www.emacsa.es

1.-INTRODUCCIÓN

Los denominados Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) son elementos superficiales permeables integrantes de la estructura urbana y previos al saneamiento. Su función es de la filtrar, retener, acumular, reutilizar e infiltrar al terreno el agua de lluvia de forma que no agreda al sistema de saneamiento, posibilitando al mismo tiempo que estas aguas pluviales puedan tener un uso urbano eficaz y seguro.

De diferentes tipologías estructurales, tales como cubiertas ecológicas, jardines horizontales o verticales, pavimentos permeables, sumideros filtrantes, canales permeables y humedales, entre otras, sus objetivos principales son los de: (i) crear ciudades más respetuosas con el agua y por tanto más sostenibles; (ii) captar las aguas pluviales en origen dando lugar a su reutilización con lo que se contribuye a rebajar la cantidad de agua de consumo utilizada para riegos, baldeos y otras prácticas urbanas; (iii) reducir la escorrentía urbana minimizando la presión hidráulica sobre las redes de saneamiento; y finalmente, (iv) conseguir una economía circular en el ciclo urbano del agua optimizando un recurso escaso en entornos climáticos severos en muchos meses del año, con precipitaciones mínimas y alta evapotranspiración, como es el caso de Córdoba.

En este sentido, los efectos más positivos sobre la red de saneamiento de la implantación de los SUDS pueden focalizarse en los siguientes: (a) reducir la problemática y las incidencias derivadas de los desbordamientos en episodios de lluvia, con un mejor cumplimiento del vigente Reglamento del Dominio Público Hidráulico (RD 665/2023) por parte de los gestores de los saneamientos; así como en (b) la mejora de la depuración del agua en las EDAR al reducir caudal influente, y en paralelo, minimizar los costes energéticos con lo que se contribuye notoriamente a la consecución de la descarbonización del ciclo urbano del agua.

Esta Jornada Técnica, que se enmarca dentro de las actividades organizadas desde la Cátedra EMACSA y en esta ocasión, como antesala del Día Mundial del Agua 2025, parte de la estrategia de sostenibilidad ambiental aplicada en el municipio de Córdoba haciendo una prospectiva sobre los beneficios que la implantación de SUDS a gran escala puede suponer para la ciudad.

En concreto, y como subrayó el Director de la Cátedra EMACSA en la inauguración, se puede estimar del orden de hasta un 10% el agua empleada en Córdoba en riego de parques y jardines, sobre un total de unos 23 hm³ al año, con lo cual si esta agua no viniese de la red de distribución pública (agua de consumo) se podría disminuir sensiblemente el gasto total de agua de la ciudad.

2.-DESARROLLO DE LA JORNADA TÉCNICA: PONENCIAS MAGISTRALES

La Jornada «Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) y su Desarrollo e Implantación en la Ciudad de Córdoba» contó en la Mesa de Inauguración con la presencia de la Vicerrectora de

Innovación y Transferencia de la Universidad de Córdoba, Prof. Dr^a Lourdes Arce Jiménez, la Directora Gerente de EMACSA Dr^a Teresa Carrillo Cobo, el Teniente de Alcalde de Sostenibilidad y Medio Ambiente del Ayuntamiento de Córdoba y Presidente de EMACSA Daniel García-Ibarrola Díaz, y el Director de la Cátedra EMACSA Dr. Rafael Marín Galvín. Todos los intervinientes se congratularon de participar en una nueva actividad de la Cátedra EMACSA que desde su creación se ha mostrado como un foro dinamizador que concita sinergias entre empresas dedicadas al ciclo del agua, particularmente EMACSA, la Universidad de Córdoba así como diversos departamentos municipales encargados de diversos aspectos de la gestión municipal del agua y de la sostenibilidad ambiental en la ciudad de Córdoba (Figura 1).



Figura 1.-Mesa Inaugural de la Jornada. De derecha a izquierda: Teresa Carrillo Cobo, Lourdes Arce Jiménez, Daniel García-Ibarrola Díaz y Rafael Marín Galvín.

2.1.-Introducción a los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible. ¿Qué son y para qué sirven?

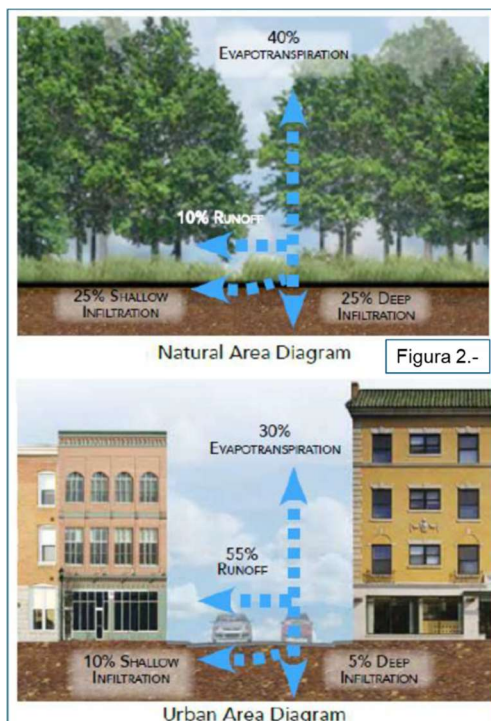
La primera ponencia corrió a cargo de Sara Perales Momparler, Dr^a. Ingeniera de Caminos, Canales y Puertos, y consejera delegada de Green Blue Management, S.L., empresa especializada en Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS). Actualmente es miembro del Comité de Agua de la Demarcación de la Comunidad Valenciana del Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

En primer lugar, la ponente hizo hincapié en la diferencia existente entre las precipitaciones registradas en un ambiente natural y en una ciudad. Aquí, el sellado del suelo y su impermeabilización provoca incremento de caudales punta, mayores volúmenes de escorrentía y menores tiempos de concentración (Figura 2).

Lo anterior genera dificultades y/o incapacidad para la conducción de los caudales recibidos por parte del saneamiento, inundaciones, elevados consumos energéticos en bombeos y depuración, alivios de aguas contaminadas que podrían afectar a los medios receptores, e incluso incomodidad e insalubridad para el ciudadano. Todo lo anterior provoca un cambio de paradigma en la gestión del agua de lluvia para integrarla en el entorno urbano. A esto responden los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (Figura 3).

Así pues, la filosofía de los SUDS se basa en: proteger las masas de agua en zona urbana, preservar patrones de drenaje naturales, minimizar y desconectar superficies impermeables, contemplar el aprovechamiento y tratamiento del agua de lluvia en origen, eliminando contaminantes, reducir el riesgo de inundaciones fomentando paisajes multifuncionales y finalmente suavizar y limitar el impacto negativo de las islas de calor urbanas.

En este sentido, en el documento sobre Directrices para minimizar el impacto de la sequía en España de 2007, ya se propugnaba que a nivel municipal en todos los nuevos desarrollos urbanísticos se implantase el drenaje separativo, la permeabilización de superficies y la captación de agua de lluvia en cisternas y aljibes. Por otro lado, y desde el punto de vista normativo, el RDPH recogido en el RD 1290/2012 en su artículo 259 ter corroboraba tal punto sobre los desbordamientos en episodios de lluvia para limitar la aportación de aguas de lluvia a los colectores de saneamiento.



Posteriormente en el RD 665/2023 se daba un impulso importante al fomento del uso de los SUDS en su Anexo XI, así como en la anterior Orden AAA/2056/2014. Aquí se definía en esencia lo que son los SUDS, y en su artículo 126 ter especificaba la obligatoriedad de su implantación en nuevas urbanizaciones, polígonos industriales y desarrollos urbanísticos en general. Aún más, en su artículo 259 quinquies relativo a los PIGSS o Planes Integrados de Gestión del Saneamiento se refería a la toma de medidas para una mejor gestión de las redes, priorizando los sistemas urbanos de drenaje sostenible. Finalmente, en la recientemente aprobada Directiva Europea 2024/3019 sobre tratamiento de las aguas residuales urbanas de noviembre de 2024, se reconoce explícitamente la existencia de la contaminación de la escorrentía pluvial urbana, remarcando el efecto negativo de la urbanización y del cambio climático en las ciudades, y dando preferencia a los desarrollos verdes y azules frente a los grises, que se implantarán sólo cuando sea necesario.

Como ejemplo de caso de éxito de SUDS operativos se comenta el de la ciudad de New York, con beneficios ambientales y ahorros incluso económicos frente a infraestructuras tradicionales cifradas en un 22% tras 20 años de explotación de sistemas verdes.

Por otro lado, en cuanto a la clasificación de los SUDS según el tipo de actuación que comportan pueden basarse en medidas estructurales que precisan de elementos constructivos para gestionar el agua de lluvia, prevenir su contaminación y/o reducir la generación de escorrentía, o en medidas no estructurales que no requieren intervenciones físicas, y que hacen uso de los sistemas existentes, con lo que se busca concienciar a la ciudadanía y favorecer el diseño adecuado de futuras infraestructuras. La Figura 4 presenta ejemplos de diversos SUDS estructurales.

Además, según la función principal de los SUDS podemos considerarlos de:

- **Filtración**, cuando retienen físicamente sólidos en suspensión en el agua de lluvia gracias a su estructura porosa y a la vegetación.

- *Detención*, que operan almacenando temporalmente la escorrentía, laminando y reduciendo caudales pico recibidos en el punto de desagüe y actuando de sedimentadores.
- *Tratamiento*, mediante procesos físicos y biológicos para eliminación o minimización de contaminantes presentes en la escorrentía.
- *Retención*, con tiempos de almacenamiento más elevados que los de detención y mayores tasas de sedimentación.
- *Infiltración*, en los que se favorece el flujo vertical descendente de la escorrentía a través del subsuelo y la recarga de acuíferos.



Figura 4.-

Finalmente, la ponencia termina con ejemplos de SUDS de diferente tipología en Barcelona, Valencia, Reus, Xàtiva (Valencia) y Benaguasil (Valencia).

2.2.-Aspectos técnicos y económicos de los SUDS. Posibles barreras para su implantación

El título arriba recogido fue el tema abordado por Antonio Lastra de la Rubia, Doctor Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos y Máster en gestión de infraestructuras y servicios públicos, además de Profesor de Hidráulica en la escuela de Caminos de la Universidad politécnica de Madrid, y Jefe del Área de Desarrollo de la Innovación en Canal de Isabel II.

En primer lugar, se hace hincapié en la acción de los SUDS a fin de almacenar, reducir, laminar y tratar escorrentías de lluvias para evitar inundaciones y vertidos al medio, así como para dar cumplimiento a la normativa derivada del RD 665/2023. En este sentido, el volumen infiltrado por los SUDS en un saneamiento contribuye al rendimiento hidráulico del sistema, como se recoge en la siguiente expresión:

$$\eta_{Hid} = \frac{Vol_{infiltrado} + Vol_{gestión EDAR}}{Vol_{precipitado} + Vol_{residual doméstica}}$$

SUDS ↓ SUDS ↓
 $Vol_{tratada} + Vol_{almacenada}$

Además, en las redes separativas, los SUDS también contribuyen al rendimiento en la eliminación de carga contaminante de todo el sistema de saneamiento como se deduce de la expresión adjunta:

SUDS
SUDS

$$\eta \text{ carga contaminante} = \frac{Vol_{vertido}(m^3/año) * Carga(mg/l)}{Vol_{gestionado tiempo seco}(m^3/año) * Carga(mg/l)}$$

En cuanto a los aspectos prácticos, el ponente fija su atención en el problema de los microplásticos, cuyo seguimiento y minimización como microcontaminantes relevantes ya viene exigida por la Directiva de Tratamiento de Aguas residuales de 2024: como es conocido las principales fuentes de microplásticos a las aguas son los cigarrillos, las ropas y textiles, y el desgaste de neumáticos, También se generan estos residuos por degradación de plásticos, aislamientos de edificios, césped artificial, pinturas plásticas y diversos revestimientos. Estas fuentes provocan la existencia de microplásticos en aguas residuales y en aguas de escorrentías urbanas y asimiladas (autopistas) de las cuales pueden ser eliminadas en diferente grado mediante retirada directa de residuos en autopistas, empleo d sistemas de decantación, bioremediación o filtración a través de arena.

Ahora se pasa revista a las posibilidades prácticas, ventajas e inconvenientes de diversos SUDS (Figuras 5 a 10):

- Green Roof (techo verde).

-Pozos de infiltración.

-Jardín vertical.

-Jardines de lluvia.





-Superficies permeables.

-Humedales artificiales.

En cada tipo de SUDS se presentan resúmenes de sus funciones y beneficios asociados, costes de implantación y mantenimiento, así como otras características más específicas.

| | | | |
|---|--|--|----------------------|
| GREEN ROOF  | | Retención de agua Regulación climática Hábitats y polinización Estética | Funciones |
| | | Costes evitados de prevención de inundaciones Costes evitados de daños por vertidos Ahorro en calefacción/enfriamiento Valor social y sanitario del clima favorable Valor de la polinización natural Plusvalía inmobiliaria | Beneficios |
| | | Coste promedio: 50-60€/m² | Implantación |
| | | Jardinería y mantenimiento preventivo | Mantenimiento |
| | | Más barato con vegetación autóctona | Otros |

| | | | |
|--|--|--|----------------------|
| JARDÍN VERTICAL  | | Retención de agua Regulación climática Hábitats y polinización Estética | Funciones |
| | | Ahorro en calefacción/enfriamiento Valor social y sanitario del clima favorable Valor de la polinización natural Plusvalía inmobiliaria | Beneficios |
| | | Coste elevado | Implantación |
| | | Coste elevado y matebimiento especializado | Mantenimiento |
| | | Vida útil reducida | Otros |

| | | |
|--|---|---|
| <p>SUPERFICIES PERMEABLES</p>  | <p>Retención de agua Filtración de agua</p> <p>Costes evitados de prevención de inundaciones Costes evitados de daños por vertidos Retención de microplásticos y otros</p> <p>Coste similar al tradicional</p> <p>Mantenimiento regular</p> <p>Áreas multifuncionales</p> | <p>Funciones</p> <p>Beneficios</p> <p>Implantación</p> <p>Mantenimiento</p> <p>Otros</p> |
| <p>POZO DE INFILTRACIÓN</p>  | <p>Retención de agua Filtración de agua</p> <p>Costes evitados de prevención de inundaciones Costes evitados de daños por vertidos Recarga acuífero</p> <p>Bajo coste</p> <p>Bajo coste y fácil mantenimiento</p> <p>Eficaz en suelos con buena permeabilidad. Requiere estudios geotécnicos previos.</p> | <p>Funciones</p> <p>Beneficios</p> <p>Implantación</p> <p>Mantenimiento</p> <p>Otros</p> |
| <p>JARDINES DE LLUVIA</p>  | <p>Retención de agua Filtración de agua Hábitats y biodiversidad Estética</p> <p>Costes evitados de prevención de inundaciones Costes evitados de daños por vertidos Valor social y sanitario del clima favorable Valor de la biodiversidad Plusvalía inmobiliaria</p> <p>Costes de jardinería</p> <p>Jardinería</p> <p>Más barato con vegetación autóctona</p> | <p>Funciones</p> <p>Beneficios</p> <p>Implantación</p> <p>Mantenimiento</p> <p>Otros</p> |
| <p>HUMEDALES ARTIFICIALES</p>  | <p>Retención de agua Reducción huella carbono Biodiversidad</p> <p>Costes evitados de prevención de inundaciones Mitigación cambio climático Valor recreativo Valor biodiversidad Recarga acuíferos</p> <p>Variable. Coste medio.</p> <p>Mantenimiento especializado</p> <p>Requiere grandes extensiones Mas adecuado para zonas periurbanas</p> | <p>Funciones</p> <p>Beneficios</p> <p>Implantación</p> <p>Mantenimiento</p> <p>Otros</p> |

Figuras.- 5, 6, 7, 8, 9 y 10, ejemplos de SUDS y características de cada uno.

A continuación, el ponente recuerda los beneficios legales, ambientales e incluso económicos de la implantación de SUDS ya comentados anteriormente, y se enfoca después en un tema tan importante cual es la existencia de barreras para la implantación de estas infraestructuras.

Así, la necesidad de coordinación entre las actividades de Urbanismo, Alcantarillado, Depuración y Planificación Urbanística (Arquitectura) definiendo aspectos de financiación, mantenimiento y delimitación entre responsabilidades públicas y privadas. Además, la falta de estudios específicos al respecto, normativa (que ha de elaborarse en muchos casos) y resistencia al cambio pueden ser barreras importantes para el desarrollo de los SUDS. También deben cuantificarse los costes y beneficios esperados incluso a nivel económico. Finalmente se requiere divulgación al respecto, así como concienciación tanto de las administraciones públicas como a nivel de ciudadanía acerca de la bondad del sistema.

2.3.-Los SUDS en la práctica. Casos de éxito en la ciudad de Madrid

Manuel de Pazos Liaño, Ingeniero de Caminos Canales y Puertos, funcionario de carrera del Ayuntamiento de Madrid, y en la actualidad Subdirector General de Control de la Urbanización de la Dirección General del Espacio Público, Obras e Infraestructuras del Área de Gobierno de Obras y Equipamientos del Ayuntamiento de Madrid, se encargó de dictar la tercera ponencia de la Jornada Técnica.

En la misma comentó la normativa existente en Madrid y aplicable a los SUDS. Así la *Ordenanza de Gestión y Uso eficiente del Agua en la Ciudad de Madrid de 2006*, donde ya se consideraban los drenajes y aguas de escorrentía, los pavimentos porosos y aguas pluviales, y dentro de los Objetivos de la misma, los de fomentar la utilización de recursos hídricos para usos que no requiriesen agua potable. Además, como recursos hídricos alternativos se consideraban las aguas procedentes de sistemas de almacenamiento de aguas pluviales, que se podrían emplear entre otros en baldeo de viales, usos industriales, limpieza de contenedores de basura, y aportación a cauces de arroyos urbanos.

A continuación, se refiere al documento de 2007 *Criterios para una jardinería sostenible en la ciudad de Madrid*. Aquí se hablaba del aprovechamiento del agua de escorrentía para llenado de depósitos reguladores, evitando su evacuación al saneamiento y minimizando las superficies asfaltadas y en general impermeables sustituyéndolas por pavimentos drenantes. También en otro documento de 2007, *Buenas prácticas en arquitectura y urbanismo para Madrid*, se fijaba como prioridad la para las zonas verdes el mismo paradigma.

Posteriormente, en el documento de 2011 *Proyecto Madrid Centro*, se hablaba de la naturalización de la ciudad creando infraestructuras verdes para recuperar el equilibrio hidrológico mermado por las zonas impermeables al agua desarrollas profusamente hasta entonces. Esta práctica se recogía en el Proyecto *Iniciativa de regeneración urbana Madrid+Natural*, entre 2016-2019, y continuaba en la *Guía Básica de Diseño de Sistemas de Gestión Sostenible de Aguas Pluviales en Zonas Verdes y otros Espacios Libres de 2019*, que presentaba actuaciones en jardines de lluvia, y entornos escolares.

En 2023, el *Plan de Fomento y Gestión de la Biodiversidad de la ciudad de Madrid*, junto al documento *Manual de soluciones basadas en la naturaleza* sistematizó todo el apartado de la renaturalización de entornos en la ciudad. En estos documentos se plantearon indicaciones que habían de cumplir los firmes permeables.

En cuanto a ejemplos de obras realizadas y operativas con un alto grado de rendimiento, el ponente ofreció minuciosa e interesante información de, entre otras, las siguientes (Figura 11):

- Nueva sede del BBVA de 2014.
- Zona verde Alfonso XIII-Paraguay de 2015.
- Centro Comercial Plaza Río de 2017.
- Estadio Metropolitano de Madrid, 2017.
- Zona Verde La Atalayuela, 2018, con zonas permeables, depósitos de infiltración y jardines de lluvia.
- Zona verde Raimundo Fernández Villaverde de 2021.

- Parque Gómeznarro (2021-2023) reconocido como buena práctica por la ONU dentro del programa Hábitat.



Figura 11-

Como obras en ejecución, el ponente se refirió a los Desarrollos del Sureste de Madrid (120.000 viviendas), y como obras en proyecto a:

- Ría de Sanchinarro, con alimentación a zonas verdes con aguas pluviales y regeneradas.
- Solana de Valdebebas.
- Operación Chamartín.

La ponencia finalizaba con los trabajos de evaluación de eficacia de instalaciones, como biofiltros para tratamiento de aguas pluviales, y especialmente los derivados de la publicación del RD 1085/2024 en que se aprobó el Reglamento de reutilización del agua los cuales han de tenerse en cuenta para utilización de aguas regeneradas en todo nuestro país.

2.4.-La experiencia de EMASESA con los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS)

Ángel Mena Miranda finalmente, fue el encargado de desarrollar la última ponencia de la Jornada. El ponente es Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos y desde 2007 trabaja en EMASESA, donde ha ejercido distintas funciones, siendo actualmente, Responsable de la División de Distribución. Desde 2017 es también Secretario de la Comisión IV, drenaje urbano, de AEAS/AGA.

En este sentido, el ponente hizo referencia a las actuaciones pasadas y presentes llevadas a cabo por EMASESA, que han tenido como efectos prácticos un mínimo mantenimiento y unas buenas prestaciones (Figura 12):

- Depósitos de detención de cuencas externas puestos en servicio por EMASESA en 2007 (Dos Hermanas).
- Pozos e imbornales drenantes (Higuerón Sur-Sevilla, C/Manzanares, 2017).
- TDUS y superficies drenantes (Alcalá de Guadaíra).
- SUDS en Av. El Greco (2019, Sevilla).
- SUDS, Avda. Asociación de Vecinos, Avda. Cruz Roja, este último conjugando con plantación de arbolado especialmente adecuado para absorción de CO₂.

Como conclusión final del ponente, si bien el mantenimiento de los SUDS no es tan irrelevante como en un principio podría esperarse, la dinámica de EMASESA es la de seguir apostando por la progresiva implantación de más SUDS en su ámbito de actuación.

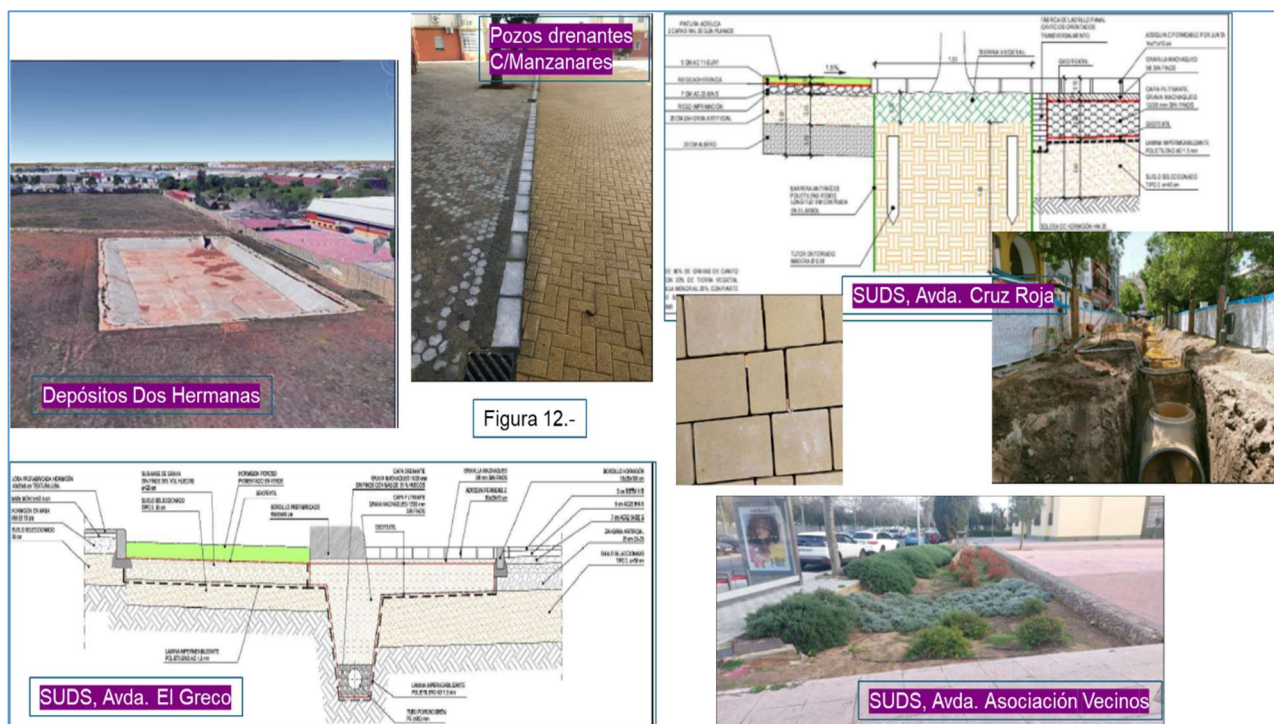


Figura 12.-

3-MESA REDONDA: Los SUDS en la ciudad de Córdoba. Situación actual y perspectivas de futuro desde la sostenibilidad urbana

La Jornada se cerró con una interesante mesa redonda moderada por el Director de la Cátedra y en la que intervinieron varios representantes municipales y profesionales ligados a los SUDS en el ámbito local, los cuales testaron la situación actual de la implantación de estas infraestructuras en el municipio de Córdoba, tanto en su situación actual como en un futuro a corto plazo.

Así se contó con Rafael Ruiz Giménez, de la Gerencia de Urbanismo de Córdoba, Miguel Ángel Caracuel del Departamento de Infraestructuras y Participación Ciudadana del Ayuntamiento de Córdoba, José Antonio Durán Molina, Responsable Técnico de EMACSA, Rafael Poyato Salamanca, de la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir en Córdoba, Juan Eusebio Benito Pérez, presidente del Colegio de Arquitectos de Córdoba, y Antonio Cleofé López Muñoz, representante del Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, en Córdoba.

Todos los ponentes coincidieron en que los SUDS pueden contribuir a mejorar la eficiencia en el uso del agua en la ciudad, a moderar la rigurosidad del clima y que pueden ser abordados con los medios disponibles en la actualidad. En la Figura 13, un SUDS ya operativo en Córdoba.



Figura 13.-Parque del Flamenco