



Co-UDlabs: promoviendo la investigación e innovación en los sistemas de drenaje urbano

En esta comunicación se presentan los trabajos realizados por el Grupo de Ingeniería del Agua y del Medio Ambiente (GEAMA) de la Universidade da Coruña (UDC) en el ámbito del proyecto europeo Co-UDlabs. Los sistemas de saneamiento y drenaje urbano son infraestructuras críticas que, a nivel global, se enfrentan a grandes desafíos como el aumento del riesgo de inundaciones, el envejecimiento y deterioro de sus activos, o la creciente necesidad de controlar la contaminación en tiempo de lluvia. En la actualidad, se hace necesario fomentar la innovación e investigación para abordar estos problemas, siendo las grandes infraestructuras de investigación esenciales para probar y validar nuevas tecnologías y procedimientos previamente a su implantación a escala real. En este contexto, el equipo de la UDC está desarrollando nuevas tecnologías para el uso de la visión artificial para la monitorización hidráulica y de contaminantes, sistemas basados en sensores de temperatura para estimar la acumulación de sedimentos y nuevos métodos para el análisis de la colmatación de firmes permeables.

Palabras clave

Sistemas de drenaje urbano, investigación e innovación, monitorización, grandes infraestructuras de investigación.

CO-UDLABS: PROMOTING RESEARCH AND INNOVATION IN URBAN DRAINAGE SYSTEMS

This paper presents the work developed by the Water and Environmental Engineering Group (GEAMA) of the Universidade da Coruña (UDC) within the framework of the European project Co-UDlabs. Sewers and urban drainage systems are critical infrastructures that are facing major challenges such as the increased risk of flooding, the aging and deterioration of their assets, or the growing need to control pollution in rainy weather. Nowadays, it is necessary to foster innovation and research to address these problems. In this context, large-scale research infrastructures are essential to test and validate new technologies and procedures prior to their full-scale implementation. The UDC team is developing new technologies for the use of artificial vision for hydraulic and pollutant monitoring, systems based on temperature sensors to estimate sediment accumulation and new methods for the analysis of clogging of permeable pavements.

Keywords

Urban drainage systems, research and innovation, monitoring, large-scale research infrastructures.

Jose Anta Álvarez

profesor titular del Área de Ingeniería Hidráulica, centro de investigación CITEEC, Universidade da Coruña

Jerónimo Puertas Agudo

catedrático del Área de Ingeniería Hidráulica, centro de investigación CITEEC, Universidade da Coruña

Luis Cea Gómez

catedrático del Área de Ingeniería Hidráulica, centro de investigación CITEEC, Universidade da Coruña

Joaquín Suárez López

profesor titular del Área de Tecnologías del Medio Ambiente, centro de investigación CITEEC, Universidade da Coruña

Juan Naves García-Rendueles

investigador postdoctoral asociado al centro de investigación CITEEC, Universidade da Coruña

Manuel Regueiro-Picallo

investigador postdoctoral asociado al centro de investigación CITEEC, Universidade da Coruña

M^a Alejandra Pimiento Avella

investigadora postdoctoral asociado al centro de investigación CITEEC, Universidade da Coruña

Andrea Ciambra

investigador postdoctoral asociado al centro de investigación CITEEC, Universidade da Coruña



1. INTRODUCCIÓN

Los sistemas de saneamiento y drenaje urbano son infraestructuras críticas que permiten proteger el medio ambiente recogiendo y transportando de forma segura las aguas residuales y de escorrentía urbana hacia instalaciones donde puedan ser tratadas para ser devueltas de forma segura al medio natural.

A nivel mundial, las ciudades se enfrentan a importantes retos como el riesgo de inundaciones pluviales, el envejecimiento y el deterioro de las infraestructuras de saneamiento y drenaje, el riesgo asociado a contaminantes tradicionales y emergentes o la degradación de las masas de agua naturales a causa de los desbordamientos de sistemas de saneamiento (DSS). Estos retos se ven agravados por tendencias globales como la urbanización, la descarbonización y la crisis climática.

El desarrollo de los nuevos sistemas de saneamiento y drenaje debe incluir nuevos enfoques como las soluciones basadas en la naturaleza (NBS, en inglés) dando lugar a nuevas infraestructuras multivalor y multifuncionales. Este es el caso de los sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS), que pueden contribuir a la gestión del riesgo de inundaciones y de la calidad del agua, a mitigar los efectos de la isla de calor urbana y a mejorar la biodiversidad y la habitabilidad del paisaje urbano.

Tal y como se recoge en la última modificación del Reglamento del Dominio Público Hidráulico (RD 665/2023), se deben aprovechar de manera eficiente otras oportunidades como la digitalización del sector, que está recibiendo un impulso económico muy notable a través de los Proyectos Estratégicos del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia (PERTE). En este sentido,

» Este trabajo presenta los análisis de la UDC sobre la utilización de técnicas de visión artificial de bajo coste para la obtención de calados, velocidades, calidad del agua o incluso la topografía detallada de cuencas y activos en los sistemas de drenaje

será necesario emplear nuevas técnicas de gestión basados en la recolección y tratamiento masivo de datos para poder procesar y analizar toda la información que se genere en estos proyectos de digitalización de los sistemas de agua urbana. Esto repercutirá positivamente en el entendimiento de los procesos hidráulicos y de calidad del agua involucrados, y ayudará en el mantenimiento y la gestión de activos que forman parte de nuestros sistemas de drenaje urbano.

Urge, por lo tanto, innovar e investigar más para hacer frente a estos retos, y las instalaciones de investigación de gran escala son esenciales para probar y validar nuevos enfoques y conceptos, demostrando su eficacia y seguridad antes de implantarlos en los sistemas de saneamiento y drenaje de forma masiva.

En este artículo se presentan los trabajos realizados por el Grupo de Ingeniería del Agua y del Medio Ambiente (GEAMA) de la Universidad A Coruña (UDC) en el ámbito del proyecto europeo Co-UDlabs (www.co-udlabs.eu), que reúne 17 instalaciones de investigación de gran escala únicas a nivel europeo. Durante el proyecto se han ofrecido accesos a estas instalaciones, en las que grupos de usuarios externos están desarrollando sus propios proyectos con el apoyo científico y económico de Co-UDlabs.

Además, el proyecto cuenta con una serie de actividades de investigación con el objetivo de promover el desarrollo y la transferencia de

nuevas tecnologías, procedimientos y prácticas en el ámbito del drenaje urbano. En este contexto, el GEAMA está analizando la utilización de técnicas de visión artificial de bajo coste para la obtención de calados, velocidades, calidad del agua o incluso la topografía detallada de cuencas y activos en los sistemas de drenaje. También se está desarrollando un novedoso sistema de medición del nivel del lecho de sedimentos basado en sensores de temperatura, que permitirá optimizar la limpieza e incrementar el conocimiento sobre los procesos de acumulación de sedimentos en tuberías e imbornales. El proceso de colmatación de pavimentos permeables y el establecimiento de métodos estandarizados para el análisis del funcionamiento a largo plazo de este tipo de soluciones es otra línea de trabajo.

2. EL PROGRAMA DE ACCESOS TRANSNACIONALES GRATUITOS DE CO-UDLABS

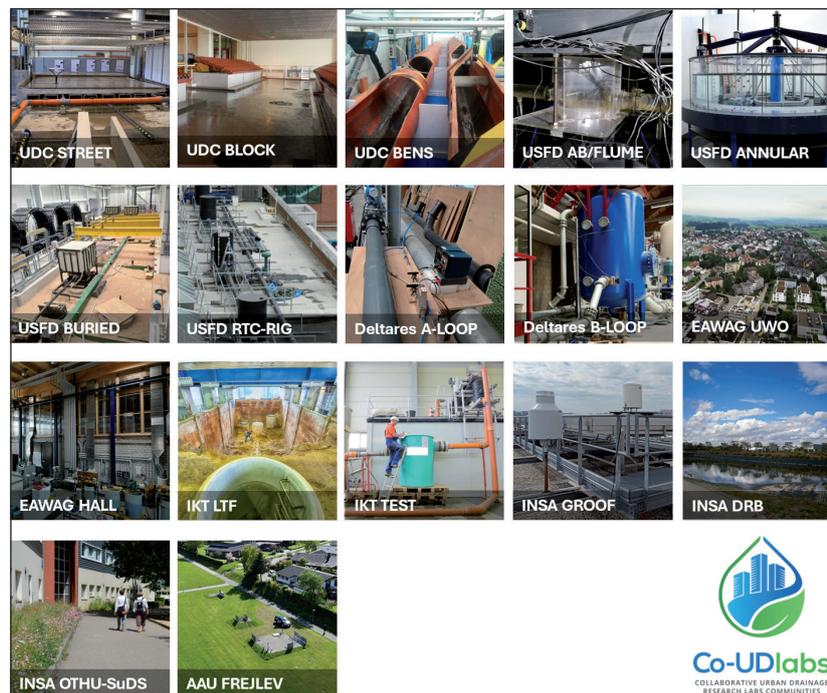
El proyecto Co-UDlabs está coordinado por la UDC. Entre sus socios cuenta con: otras 3 universidades -Universidad de Sheffield (Reino Unido), Instituto Nacional de las Ciencias Aplicadas INSA Lyon (Francia) y Universidad de Aalborg (Dinamarca)-; 3 institutos de investigación de primer nivel -Deltares (Países Bajos), EAWAG (Suiza) e IKT (Alemania)-; y la organización GRAIE y Euronovia, que llevan a cabo actividades de comunicación y creación de redes. El objetivo principal del proyecto es proporcionar una estructura de

investigación colaborativa y multidisciplinar a nivel europeo, que permita a investigadores y personal dedicado al I+D+i en el sector del drenaje urbano reunirse, compartir ideas, y desarrollar y validar nuevos enfoques con el apoyo de los socios de Co-UDlabs y las 17 instalaciones singulares de investigación que se ofrecen (Anta *et al.* 2023).

Estas instalaciones (mostradas en la **Figura 1**) están especialmente diseñadas para abordar, desde un punto de vista científico, problemas en el ámbito del drenaje urbano como las inundaciones urbanas, la contaminación por escorrentía, los procesos fisicoquímicos y biológicos en colectores, los SUDS, el análisis del rendimiento y el deterioro de los elementos de los sistemas de drenaje urbano y su control y monitorización en tiempo real.

A través de dos convocatorias de Acceso Transnacional, Co-UDlabs ha seleccionado un total de 31 proyectos a desarrollar en las 17 instalaciones punteras ofrecidas. En estos accesos, los grupos externos han contado con el apoyo de Co-UDlabs incluyendo costes de alojamiento y de viaje, así como apoyo logístico, tecnológico y científico de los socios del proyecto que habitualmente explotan cada una de las instalaciones. Un total de 227 investigadores han participado en el programa procedentes de 122 entidades de 27 países, siendo más del 30% de entidades no académicas como operadores, administraciones y empresas del sector. La UDC albergará al final del proyecto un total de 7 proyectos en las 3 instalaciones que ha ofrecido, cuyas temáticas incluyen procesos de transporte de contaminantes como metales pesados o plásticos en cuencas urbanas, el desarrollo y validación de nuevos equipos para la medida de variables

FIGURA 1. Instalaciones de investigación a gran escala disponibles en el programa de accesos transnacionales del proyecto europeo Co-UDlabs.



hidráulicas y de calidad de aguas en conducciones, técnicas SUDS como pavimentos permeables o cubiertas verdes, o inundaciones urbanas.

3. ACTIVIDADES DE INVESTIGACIÓN COORDINADA

En el ámbito del proyecto, se han definido tres actividades de investigación que refuerzan los servicios prestados en las diferentes instalaciones de investigación durante el acceso transnacional e impulsarán el desarrollo y transferencia de nuevas tecnologías, procedimientos y prácticas en el ámbito del drenaje urbano. Estas actividades de investigación se centran en estudiar el deterioro de los elementos que forman los SUDS y asegurar su resiliencia y sostenibilidad a largo plazo con la ayuda de herramientas de análisis de datos y de técnicas de monitorización inteligente robustas, autónomas e interconectadas. A continuación, se presentan las principales actividades desarrolladas desde la UDC.

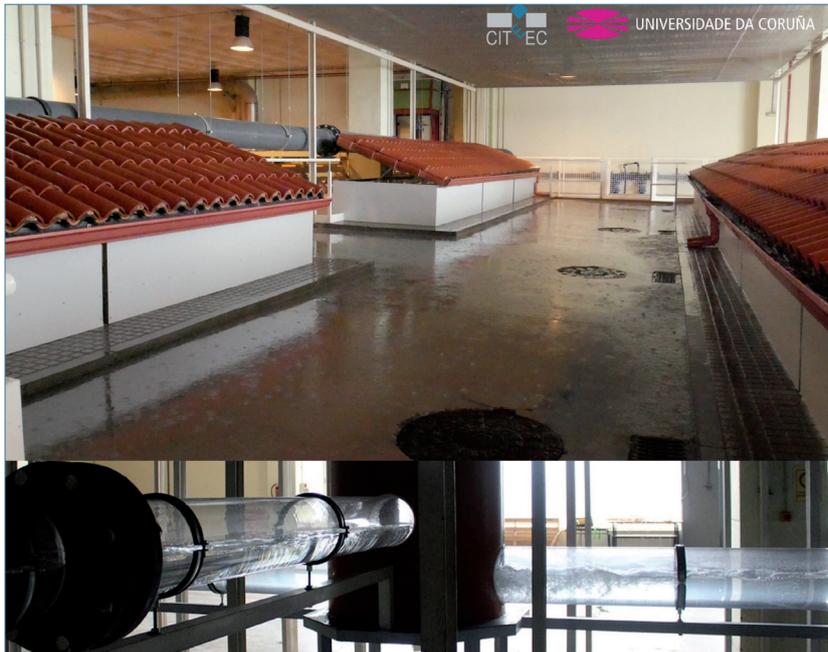
3.1 DESARROLLO Y VALIDACIÓN DE NUEVAS METODOLOGÍAS DE MONITORIZACIÓN CON TÉCNICAS DE IMAGEN EN EL ÁMBITO DEL SANEAMIENTO Y DRENAJE URBANO

La visión artificial ha emergido como una tecnología disruptiva con aplicaciones en diversas industrias y se ha convertido en una herramienta de gran utilidad para la medición y análisis en tiempo real de fenómenos complejos. Los desarrollos constantes de los sistemas de procesamiento, la proliferación de herramientas *software* de código abierto, y el desarrollo de sistemas de bajo coste y consumo están potenciando significativamente el desarrollo y la aplicación de estas técnicas de visión artificial en múltiples campos.

En la actualidad, el GEAMA está desarrollando nuevas aplicaciones de visión artificial orientadas a la hidrología urbana como la medida de velocidades en flujos de escorrentía mediante la técnica LSPIV (*Large*



FIGURA 2. Superficie y red de drenaje del modelo físico Block.



Scale Particle Image Velocimetry), la medición de niveles de agua y el análisis del transporte de cargas contaminantes en la superficie de una calle durante episodios de lluvia. En este apartado también se presenta el análisis de técnicas de levantamiento topográfico para mejorar la simulación de flujos de escorrentía y validación de modelos de drenaje urbano 2D.

3.1.1. Análisis de flujos de escorrentía en grandes superficies en modelo físico

La principal novedad de esta aplicación es el uso de sistemas de bajo coste basados en Raspberry Pi y las librerías de código abierto OpenCV (Bradski, 2000) y OpenPIV (Liberzon *et al.* 2021) para la grabación de los vídeos y la obtención de velocidades, así como la utilización de hasta 8 cámaras al mismo tiempo para cubrir una superficie total de unos 40 m² del modelo físico BLOCK (Figura 2). Esta instalación está ubicada en el Laboratorio de Hidráulica del CI-TEEC y representa una intersección

de un viario en forma de 'T' con una superficie de 100 m² (Figura 2, izquierda). Cuenta con el simulador de lluvia-escorrentía más grande de Europa, capaz de generar intensidades de lluvia de 30, 50 y 80 mm/h que se drenan a través de imbornales y bajantes hacia una red de drenaje compuesta por varios pozos de registro y dos líneas de tuberías y si-

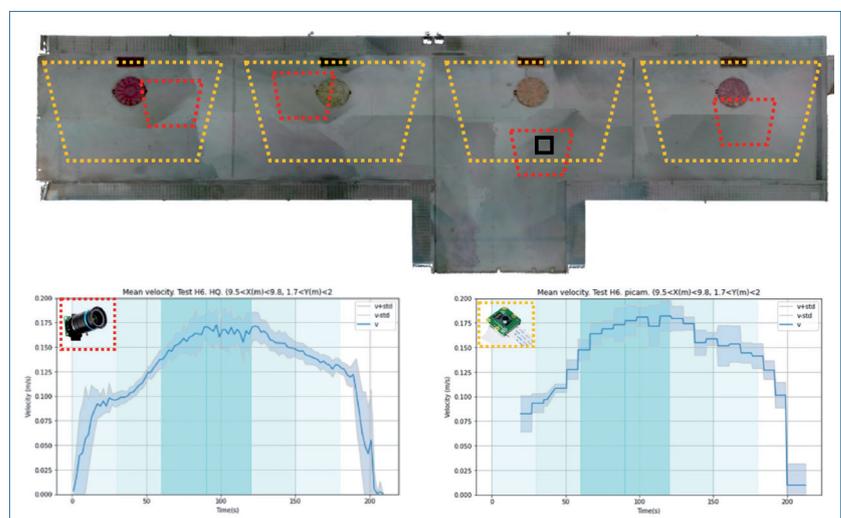
tuada en la parte inferior del modelo (Figura 2, derecha).

Para el análisis del campo de velocidades en esta instalación se instalaron dos tipos de cámaras de bajo coste (Figura 3). La cámara Raspberry HQ conectada a equipos Raspberry Pi4 (200 €, 12.3 Mpx, 10 fps), y la cámara Raspberry Pi Camera Module 2 conectada a equipos Raspberry Pi Zero (50 €, 8 Mpx, 2.6 fps). Los resultados han demostrado que los equipos Raspberry Pi son capaces de poder llevar a cabo este tipo de análisis con una resolución temporal adecuada y que esta tecnología podría implementarse en entornos reales a corto plazo.

3.1.2. Análisis de calados y velocidades en un tanque de sedimentación para aguas de escorrentía

Este sistema de medida se ha instalado además en un tanque de sedimentación para aguas de escorrentía situado en las instalaciones de Universidad de Aalborg (Dinamarca). El trabajo tiene por objetivo analizar diferentes estrategias de vaciado

FIGURA 3. E Esquema del campo de visión de las cámaras en el modelo Block: Raspberry HQ (rojo) y Raspberry Camera Module2 (amarillo). En la parte inferior se presentan las velocidades medias obtenidas empleando la técnica LSPIV en el cuadrado negro señalado, común con los tipos de cámara.

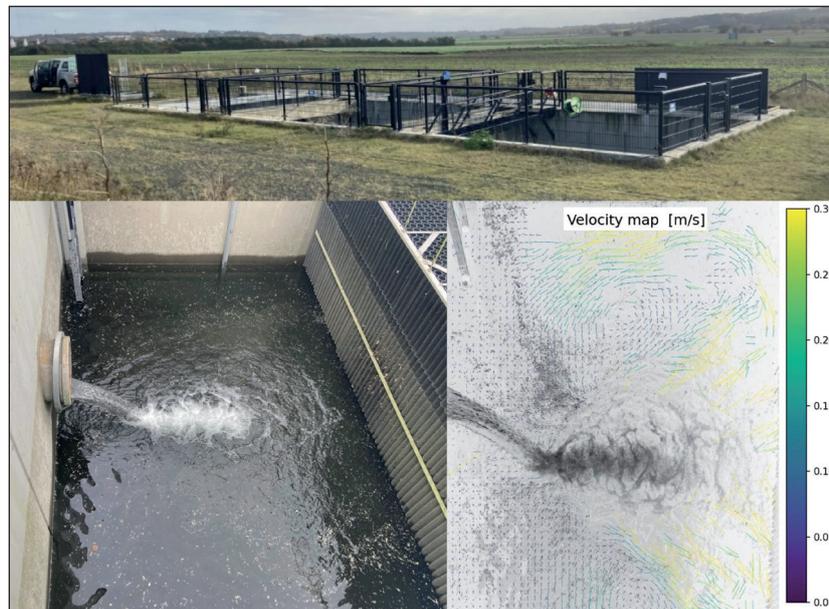


del tanque para poder minimizar la resuspensión de los sedimentos depositados tras los episodios de lluvia (Naves *et al.*, 2023). El software desarrollado para esta aplicación dispone de una interfaz gráfica donde se definen dos áreas objeto de análisis: la pared vertical del depósito para determinar el nivel de llenado de este y la delimitación de la masa de agua para la obtención de velocidades mediante análisis PIV (Figura 4). El software ha sido optimizado para que pueda ser ejecutado en equipos de baja capacidad de procesamiento como el caso de la Raspberry Pi4 utilizada para la campaña experimental.

3.1.3. Estudio del lavado de sedimentos en superficies urbanas durante eventos de lluvia

A través de técnicas de análisis y segmentación de imagen, la visión artificial se ha utilizado también para la estimación del lavado de sedimento en la superficie de calles durante eventos de lluvia. Para ello se han

FIGURA 4. Aplicación de análisis de nivel de agua en estanque y velocimetría en un tanque de sedimentación gestionado por la Universidad de Aalborg (Dinamarca).



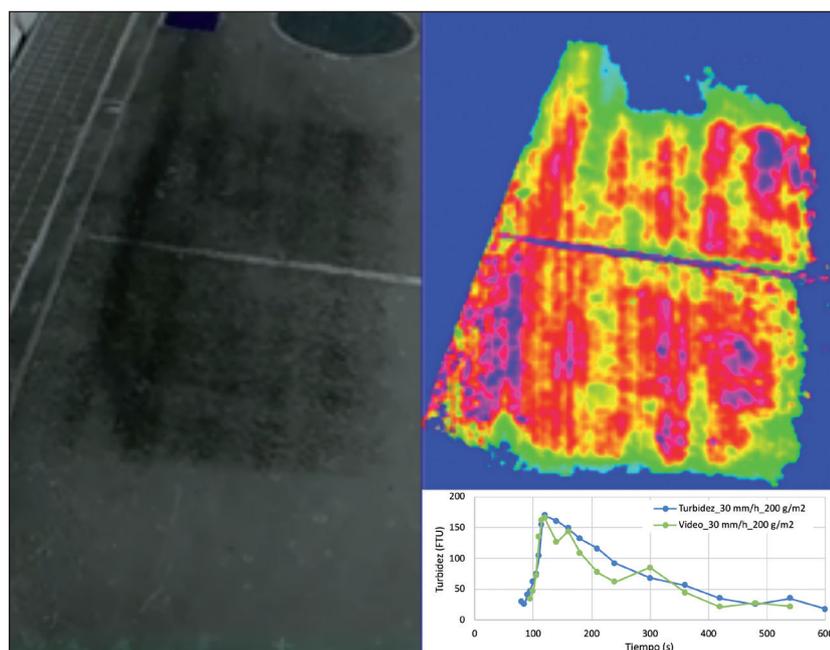
desarrollado una serie de ensayos en los que se dispone una determinada carga de sedimento de manera uniforme sobre la superficie de la instalación y se simula un determinado evento de lluvia. A partir de las imágenes de la superficie es posible estimar cualitativamente la concen-

tración de sedimentos en el flujo de escorrentía a lo largo del ensayo y compararla con la turbidez registrada con una sonda convencional en el imbornal que recoge la escorrentía (Figura 5).

3.1.4. Análisis de distintas técnicas de levantamiento topográfico en modelo físico

Por otra parte, y con respecto de la aplicación de técnicas de levantamiento topográfico, se está trabajando en la comparación de diferentes técnicas como LIDAR, fotogrametría (SfM) o el uso de cámaras de profundidad para la obtención de elevaciones precisas en las instalaciones a gran escala de la UDC, considerando distintas superficies que se pueden encontrar en cuencas urbanas como firmes de diferentes materiales, aceras o tejados. La obtención de una topografía precisa es clave en la simulación numérica de los flujos muy someros que se dan durante eventos no extremos en cuencas urbanas, por lo que se está utilizando el modelo Iber en la evaluación de

FIGURA 5. Ensayos de determinación de la movilización de sedimento a partir de técnicas de visión artificial.





las distintas topografías obtenidas y en el análisis de las incertidumbres que pueden generar estas variaciones en los resultados del modelo. Se pretende continuar este trabajo con una fase de escalado para su aplicación a soluciones reales.

3.2. ANÁLISIS DE LOS PROCESOS DE COLMATACIÓN DE SECCIONES DE PAVIMENTO FILTRANTE

Dentro del ámbito del proyecto se ha desarrollado una actividad intensa de caracterización de secciones de pavimento poroso, complementada con otros trabajos realizados previamente por el GEAMA con otras universidades, administraciones públicas y empresas (García-Haba *et al.* 2023). El trabajo realizado se desarrolló en dos instalaciones con diferentes escalas (Figura 6). La primera es un simulador de lluvia convencional de 1 m² de superficie, en el que se pudieron ensayar losas de distintas tipologías de firme (hormigón permeable con junta y pavimento bituminoso). A partir del análisis de la respuesta hidráulica de las diferentes tipologías de losas de pavimento ante cargas de sedimentos con distintas granulometrías, se ha podido comprender mejor el proceso de colmatación y analizar su funcionamiento a largo plazo en cuanto a capacidad de filtración y retención de contaminantes durante su vida útil. La otra instalación utilizada se denomina Sreet y consiste en un tramo de calle a escala real de 30 m² con sistema de generación de lluvia en el que se instaló una capa de pavimento poroso bituminoso PA-16 de 5 cm de espesor. La compañía experimental llevada a cabo en este modelo ha proporcionado resultados novedosos sobre la escalabilidad y representatividad de los resultados obtenidos en simuladores convencionales a pequeña escala.

FIGURA 6. Ensayos de caracterización a largo plazo de pavimentos permeables en el banco de ensayos de 1 m² y en la instalación Sreet. Se muestran imágenes de la configuración experimental y detalles de la instrumentación y alcance de la colmatación simulada.



A pesar de los numerosos trabajos realizados a nivel internacional, en la actualidad no existe un método o procedimiento estandarizado aceptado para la caracterización hidráulica de pavimentos permeables que considere además la pérdida de capacidad de infiltración producida por la colmatación. Por este motivo, Co-UDlabs pretende proponer una metodología para el análisis de estos pavimentos basada en el amplio conocimiento adquirido.

3.3. NUEVOS SISTEMAS BASADOS EN MEDIDAS DE TEMPERATURA PARA LA MONITORIZACIÓN DE LA ACUMULACIÓN DE SEDIMENTOS EN SISTEMAS DE SANEAMIENTO Y DRENAJE URBANO

La acumulación de sedimentos en sistemas de saneamiento y drenaje urbano puede provocar la disminución de la capacidad de descarga de estos sistemas y la movilización de sedimentos y liberación de contami-

nantes durante períodos de lluvias. Retirar los sedimentos es muy costoso, y actualmente no existe ningún método establecido para monitorizar su acumulación y que permita optimizar estrategias de limpieza. En el marco del proyecto Co-UDlabs, se ha desarrollado un sistema de monitorización de temperaturas en sedimentos (Montse) que permite el registro y control de la acumulación de sedimentos en distintos sistemas de drenaje urbano a partir de sensores de temperatura de bajo coste (Regueiro-Picallo *et al.*, 2023).

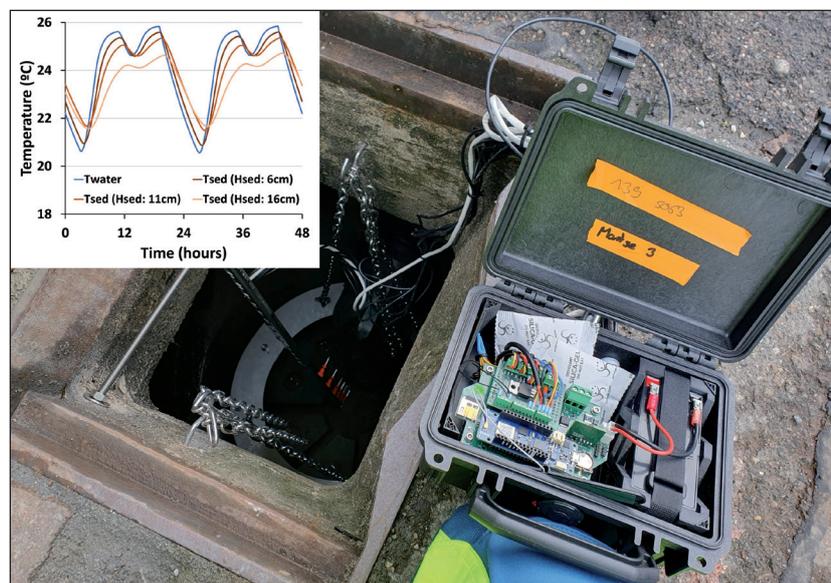
Los sistemas de saneamiento unitario presentan un marcado patrón diario de temperaturas en tiempo seco. Este patrón se atenúa y desfasa temporalmente en el caso de existir un lecho de sedimentos, produciéndose una transferencia de calor entre el agua residual y los sedimentos (Regueiro-Picallo *et al.*, 2024a, 2024b). Este espesor será proporcional a la atenuación y desfase del patrón de

temperaturas (**Figura 7**). De forma similar ocurre en imbornales, donde el flujo de escorrentía introduce un cambio de temperaturas que se atenúa y desfasa si existe un lecho de sedimento (Regueiro-Picallo *et al.*, 2024c). De este modo, el sistema Montse mide las temperaturas tanto del agua residual o de escorrentía como del lecho de sedimentos y estima el espesor del lecho de sedimentos utilizando modelos basados en las ecuaciones de transferencia de calor. El sistema ha sido validado en instalaciones de investigación de 4 de los socios del proyecto y actualmente se encuentra instalado en imbornales de Suiza y Países bajos (**Figura 7**).

4. CONCLUSIONES

En este artículo se han presentado los principales resultados vinculados con la innovación e investigación y la transferencia de conocimiento desarrollados por la UDC desde el ámbito del proyecto europeo Co-UDlabs. Este proyecto ha permitido abrir las instalaciones del centro tecnológico CITEEC vinculadas con el drenaje urbano a nuevos investigadores y personal técnico de otras instituciones internacionales para desarrollar proyectos concretos en la infraestructura científica de la UDC. En el ámbito del GEAMA, se han desarrollado nuevas tecnologías de monitorización como el sistema de cámaras y visión artificial o el sistema de monitorización Montse, que, junto con las nuevas metodologías de análisis de pavimentos permeables, están permitiendo desarrollar nuevos servicios con un alto nivel de TRL que pueden ser usados por operadores, empresas y administraciones. En el futuro se pretende consolidar la red de trabajo y hacerla más accesible a la comunidad internacional, tratando de acercar a la industria, admi-

FIGURA 7. Sistema Montse instalado en un imbornal para estimar los procesos de acumulación de sedimentos y análisis de los procesos de transferencia térmica en tuberías de saneamiento para diferentes condiciones de profundidad de sedimentos.



nistraciones y operadores en la aplicación de soluciones colaborativas.

5. AGRADECIMIENTOS

El proyecto Co-UDlabs está financiado por la Unión Europea bajo el programa de investigación e innovación Horizonte 2020 (H2020-INFRAIA-2020-1) mediante el acuerdo de subvención número 101008626.

Bibliografía

- [1] Anta, J., Puertas, J., Cea, L., Suárez, J., Naves, J., Carreres, D., Ciambra, A. (2023). Co-UDlabs: una red europea de grandes instalaciones de investigación en drenaje urbano. VII Jornadas de Ingeniería del Agua. Fundación Fomento Ingeniería del Agua - IAHR. Cartagena. 18 y 19 de octubre de 2023.
- [2] Bradski, G. (2000). The openCV library. Dr. Dobbs' Journal: Software Tools for the Professional Programmer, núm. 25(11), págs. 120-123.
- [3] Brüggemann, T. (2017). Länge und Wiederbeschaffungswert der Unterirdischen Infrastruktur in Deutschland und in der Europäischen Union. IKT – Institut für Unterirdische Infrastruktur. <https://www.ikt.de/wp-content/uploads/2017/03/ikt-unterirdische-infrastrukturen-netzlaengen-wiederbeschaffungswerte-deutschland-eu.pdf>.
- [4] EEA (2012). Urban adaptation to climate change in Europe. EEA Report No 2/2012 <https://www.eea.europa.eu/publications/urban-adaptation-to-climate-change>.
- [5] EEA (2019). The European environment - state and outlook. EEA Report. <http://doi.org/10.2800/96749>.
- [6] García-Haba, E., Naves, J., Hernández-Crespo, C., Goya-Heredia, A., Suárez, J., Anta, J., & Andrés-Doménech, I. (2023). Influence of sediment characteristics on long-term hydrology and water quality behaviour during the clogging process of a permeable asphalt. Journal of Water

Process Engineering, núm. 53, pág. 103658.

[7] Liberzon, L., Käufer, T., Bauer, A., Vennemann, P. y Zimmer, E. (2021). OpenPIV/ openpiv-python: OpenPIV-Python v0.23.6 (0.23.6). Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.593157>.

[8] Naves, J., Nielsen, J.E., Anta, J. (2023). Application of Large-Scale Particle Image Velocimetry (LSPIV) technique in Aalborg retention pond [Data set]. Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.10371665>.

[9] Pistocchi, A., Dorati, C., Grizzetti, B., Udias, A., Vigiak, O., Zanni, M. (2019). Water quality in Europe: effects of the Urban Wastewater Treatment Directive. Publications Office of the European Union: Luxembourg. <http://doi.org/10.2760/303163>.

[10] Regueiro-Picallo, M., Anta, J., Naves, A., Figueroa, A., Rieckermann, J. (2023). Towards urban drainage sediment accumulation monitoring using temperature sensors. Environmental Science: Water Research & Technology, núm. 9, págs. 300-312. <https://doi.org/10.1039/D2EW00820C>.

[11] Regueiro-Picallo, M., Langeveld, J., Wei, H., Bertrand-Krajewski, J. L., Rieckermann, J. (2024a). Combining a daily temperature pattern analysis and a heat-pulse system to estimate sediment depths in sewer systems. Environmental Science: Water Research & Technology, núm. 10(4), págs. 922-935. <https://doi.org/10.1039/D3EW00825H>.

[12] Regueiro-Picallo, M., Schellart, A., Jensen, H., Langeveld, J., Viklander, M., Lundy, L. (2024b). Flow rate influence on sediment depth estimation in sewers using temperature sensors. Water Science & Technology, núm. 89(11), págs. 3.133. <https://doi.org/10.2166/wst.2024.193>.

[13] Regueiro-Picallo, M., Moreno-Rodenas, A., Clemens-Meyer, F. (2024c). Measuring heat transfer processes in gully pots for real-time estimation of accumulated sediment depths. Environmental Science: Water Research & Technology, núm. 10, págs. 2.392. <https://doi.org/10.1039/D4EW00389F>.

[14] Sañudo, E., Naves, J., Regueiro-Picallo, M., Puertas, J., Luis, C., Anta, J. (2023). Analysis and assessment of new techniques to build-up the topography/geometry of Urban Drainage infrastructure with high resolution [Data set]. Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.10371819>. 