CONAMA 2026

Soluciones basadas en la Naturaleza ante los retos de la nueva Directiva de tratamientos de aguas residuales urbanas

Edita: Fundación Conama

Año: 2026

Este documento está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional.

Personas autoras de la presente comunicación técnica

Autora principal de la comunicación: Julie Echeverría-Puertas. Investigadora predoctoral. Instituto Universitario de Investigación de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente (IIAMA), Universitat Politècnica de València.

Otros Autores: Julián Campo. Investigador doctor senior. Centro de Investigaciones sobre Desertificación (CIDE-CSIC-UV-GVA).

Enrique Asensi. Profesor Titular. IIAMA, Universitat Politècnica de València.

Miguel Martín. Profesor Titular. IIAMA, Universitat Politècnica de València.

Ignacio Andrés-Doménech. Catedrático de Universidad. IIAMA, Universitat Politècnica de València.

Yolanda Moreno. Investigadora. IIAMA, Universitat Politècnica de València.

Carmen Hernández-Crespo. Profesora Titular. IIAMA, Universitat Politècnica de València.

Índice

Resumen iii

1. Introducción 1

2. Objetivos del proyecto y de la comunicación 2

2.1. Objetivos de NatUrb 2

2.2. Objetivos de esta comunicación 2

3. Antecedentes experimentales 2

3.1. Humedales artificiales para tratamiento de aguas 3

3.1.1. Humedales artificiales para tratamiento de aguas residuales urbanas 3

3.1.2. Humedales artificiales para restauración ecológica 4

3.1.3. Acumulación y envejecimiento de microplásticos 5

3.2. Pavimentos permeables 5

3.3. Contribución de los antecedentes al planteamiento de NatUrb 5

4. Metodología del Proyecto NatUrb 6

4.1. Seguimiento y caracterización de microcontaminantes 6

4.2. Envejecimiento de microplásticos y caracterización de la plastisfera 7

4.3. Modelización y aplicación al diseño y la gestión 7

4.4. Transferencia y criterios técnicos 7

5. Conclusiones 8

6. Agradecimientos 9

7. Bibliografía 9

Resumen

La Directiva (UE) 2024/3019 sobre el tratamiento de las aguas residuales urbanas plantea nuevos retos para el control de microcontaminantes, la reducción de la contaminación asociada a los desbordamientos por aguas de tormenta, la neutralidad energética y la recuperación de recursos. En este contexto, el proyecto NatUrb evaluará el potencial de las soluciones basadas en la naturaleza (SbN), especialmente humedales artificiales y sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS), para contribuir a una gestión integrada del saneamiento.

Esta comunicación recoge los avances previos de los autores sobre la presencia, retención y distribución de microplásticos en humedales de tratamiento de aguas residuales, humedales de restauración ecológica y pavimentos permeables. Dichos estudios muestran la acumulación de partículas en distintos componentes de las instalaciones y aportan evidencia de su alteración física y química, lo cual constituye el punto de partida para la investigación prevista en NatUrb.

El proyecto combinará el seguimiento de instalaciones a escala real con la caracterización de microcontaminantes y la modelización matemática. Se estudiará el destino de fármacos, PFAS, hidrocarburos aromáticos policíclicos y microplásticos en agua y matrices sólidas. Paralelamente, se analizará el potencial de los humedales para el tratamiento cuaternario, la regeneración de agua y la recuperación de nutrientes, así como la contribución de los SUDS a la reducción de la contaminación por escorrentía y desbordamientos de aguas de tormenta. En el caso de los microplásticos, se relacionarán sus características y signos de envejecimiento con las comunidades microbianas que los colonizan (plastisfera) para explorar su potencial de biodegradación.

Los conocimientos y herramientas generados contribuirán a fundamentar los planes integrados de saneamiento y a promover la implantación de SbN frente a las exigencias fijadas por la normativa europea.

Palabras clave:

Soluciones basadas en la naturaleza; microplásticos; humedales artificiales; drenaje urbano sostenible; aguas residuales; plastisfera

1. Introducción

La gestión de las aguas residuales urbanas requiere una perspectiva que integre el tratamiento de los vertidos, la gestión de las escorrentías y la protección de los medios receptores. En esta línea, la Directiva (UE) 2024/3019 actualiza el marco establecido por la Directiva 91/271/CEE e incorpora nuevas exigencias para el control de microcontaminantes y de la contaminación asociada a las aguas de tormenta. A su vez, refuerza la importancia de la eficiencia energética y la recuperación de recursos, orientando el saneamiento hacia una gestión más integrada del agua y de los procesos asociados a su tratamiento (Directiva (UE) 2024/3019, 2024).

En este contexto, las soluciones basadas en la naturaleza (SbN) adquieren relevancia por su capacidad para integrar procesos de tratamiento y de regulación hidráulica. Los humedales artificiales y los sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS) permiten abordar estos objetivos aprovechando las interacciones entre el agua, la vegetación, los medios filtrantes y las comunidades microbianas. Su incorporación al saneamiento requiere profundizar en los procesos que determinan su funcionamiento y traducir ese conocimiento en criterios de diseño y gestión.

Los humedales de tratamiento son sistemas diseñados para mejorar la calidad del agua mediante procesos físicos, químicos y biológicos asociados a la vegetación, el sustrato y los microorganismos. Se estructuran en balsas o canales con dispositivos de entrada y salida que regulan el flujo del agua. En los de flujo superficial, esta circula sobre el sustrato y entre la vegetación, mientras que en los de flujo subsuperficial atraviesa un lecho poroso, generalmente de grava o arena, donde se desarrollan las raíces y las comunidades microbianas (Kadlec & Wallace, 2009; Vymazal, 2010).

Por su parte, los SUDS constituyen un conjunto de técnicas destinadas a gestionar la escorrentía reproduciendo procesos del drenaje natural, como la infiltración, el almacenamiento y la circulación lenta del agua. Pueden integrar pavimentos permeables, cunetas vegetadas, áreas de biorretención y balsas o humedales de detención y tratamiento. Estos componentes se disponen de forma individual o conectados en secuencia, desde las zonas donde se genera la escorrentía hasta su infiltración o vertido controlado, favoreciendo tanto la regulación de caudales como la retención de contaminantes (Calzadilla-Cabrera et al., 2026; Woods Ballard et al., 2015).

Entre las cuestiones de interés se encuentra el destino de los contaminantes retenidos en estas infraestructuras. En el caso de los microplásticos (Calzadilla Cabrera et al., 2023; Calzadilla-Cabrera et al., 2026; Caprar et al., 2026; Echeverría-Puertas et al., 2026) y contaminantes orgánicos persistentes (Soursou et al., 2024, 2025), los resultados previos del equipo han mostrado su acumulación en sedimentos, materiales porosos y componentes asociados a la vegetación. A diferencia de los tratamientos convencionales, en los que las partículas terminan mayoritariamente en lodos aplicados a la agricultura (80 % en España, según el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (2022)), las SbN evitan su rápida reintroducción en el suelo. A partir de estas observaciones surge la necesidad de conocer cómo evolucionan las partículas durante su permanencia en el sistema y qué condiciones pueden favorecer su transformación.

Sobre esta base se plantea el proyecto NatUrb, orientado a mejorar el conocimiento sobre el potencial de los humedales artificiales y los SUDS para controlar microcontaminantes y recuperar recursos. Mediante la conexión entre la investigación y la aplicación técnica, el proyecto busca aportar herramientas que faciliten la integración de estas soluciones en la gestión del saneamiento urbano frente a los retos del nuevo marco europeo.

2. Objetivos del proyecto y de la comunicación

2.1. Objetivos de NatUrb

El proyecto NatUrb se estructura en los siguientes objetivos:

1. **Profundizar en la capacidad de las SbN para el control de microcontaminantes y la recuperación de recursos:** Analizar el funcionamiento de los distintos componentes de las SbN (humedales artificiales y SUDS) en la retención de contaminantes en agua y escorrentía. El proyecto abarca la caracterización del estado de alteración física, química y biológica de los microplásticos acumulados, el análisis del microbioma o plastisfera desarrollada sobre su superficie para evaluar su potencial de biorremediación, y la valoración de las SbN para regenerar agua orientada a la reutilización y la recuperación de nutrientes.

2. **Desarrollar herramientas de diseño y gestión basadas en modelos de procesos.** Comprende implementar y comparar modelos de distinta complejidad, aplicarlos en planificación integrada y evaluar los humedales artificiales como tratamiento cuaternario.

3. **Impulsar la implantación de SbN para controlar la contaminación y mejorar la resiliencia climática.** Incluye inventarios a escala real, análisis, criterios de diseño y normalización, y concertación con agentes del sector.

2.2. Objetivos de esta comunicación

El objetivo de esta comunicación es contextualizar el proyecto NatUrb en el marco de la Directiva (UE) 2024/3019, presentar los avances experimentales del equipo en el estudio del comportamiento de los microplásticos en soluciones basadas en la naturaleza y, a partir de estos resultados, exponer la continuidad de la investigación sobre el destino, la transformación y el potencial de biodegradación de las partículas retenidas.

3. Antecedentes experimentales

El proyecto NatUrb se fundamenta en trabajos previos del equipo que han caracterizado la presencia, concentración y distribución de microplásticos en distintas SbN, incluidos humedales artificiales y SUDS. Estos estudios constituyen el punto de partida para profundizar en el destino y posible transformación de microcontaminantes retenidos en estas infraestructuras.

3.1. Humedales artificiales para tratamiento de aguas

3.1.1. Humedales artificiales para tratamiento de aguas residuales urbanas

Los humedales artificiales constituyen una SbN ampliamente aplicada en el tratamiento de aguas residuales urbanas, actuando comúnmente como etapas de tratamiento secundario o terciario según el esquema de la instalación. Para evaluar su comportamiento frente a contaminantes emergentes, se investigó el destino de los microplásticos en dos estaciones depuradoras (EDAR) a escala real: la EDAR del municipio de Carrícola, cuyo tratamiento secundario emplea humedales de flujo subsuperficial horizontal (HF), y la EDAR de la urbanización Los Monasterios, que integra un reactor biológico con macrófitos flotantes y un tratamiento terciario mediante humedal flotante (FS). Las concentraciones medias de microplásticos en el agua residual de entrada fueron de 20,3 ± 0,85 MP/L en Carrícola y 8,4 ± 1,13 MP/L en Los Monasterios, mientras que en el efluente final se redujeron a 0,58 ± 0,07 MP/L y 0,17 ± 0,06 MP/L, respectivamente. Estos valores representan eficiencias globales de eliminación del conjunto de la depuradora del ~97 % en Carrícola y del ~98 % en Los Monasterios. Asimismo, el estudio analizó la matriz de fangos acumulados, diferenciando entre los sólidos retenidos en el sustrato de grava y los adheridos al complejo radicular de la vegetación (donde se alcanzaron hasta 51,79 ± 19,8 MP/g de fango seco en las raíces flotantes). Los resultados indican la importancia del sustrato y la vegetación como trampas físicas de retención (Calzadilla Cabrera et al., 2023).



Figura 1. Humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales del municipio de Carrícola. Fuente: Autores.

3.1.2. Humedales artificiales para restauración ecológica

Los humedales de restauración ecológica han demostrado potencial como barreras ambientales defensivas para proteger ecosistemas acuáticos, como la laguna de la Albufera de Valencia. Este lago es un ecosistema acuático costero de elevado valor ecológico y figura de protección internacional (sitio Ramsar y Red Natura 2000), históricamente expuesto a elevadas presiones antrópicas. En su entorno, el Tancat de la Pipa constituye un espacio restaurado de 40 ha que integra humedales de flujo superficial, lagunas y zonas vegetadas para mejorar la calidad del agua y favorecer la restauración ecológica. Este conjunto de humedales artificiales actúa como filtro natural y sistema de restauración ecológica para amortiguar la entrada de nutrientes y contaminantes antes de su vertido al lago. Al evaluar el funcionamiento a escala real del humedal del Tancat de la Pipa, el estudio registró una disminución de la concentración de microplásticos entre las zonas de entrada y salida e identificó posibles aportes asociados a distintas actividades de la cuenca, con una concentración media de 0,032 MP/L en la entrada y de 0,021 MP/L en la salida. Durante las campañas estudiadas se observó una reducción aparente media de la concentración próxima al 34%, con valores entre el 24% y el 50%. La relevancia de estos resultados muestra el valor de los humedales como filtros naturales, al tiempo que evidencia sus limitaciones al plantear interrogantes clave sobre el destino y la posible transformación de los microplásticos durante su tiempo de retención (Caprar et al., 2026).



Figura 2. Vista aérea del Tancat de la Pipa.
Fuente: Google Earth.

3.1.3. Acumulación y envejecimiento de microplásticos

En sistemas de humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal con más de diez años de operación continua (EDAR de Carrícola), se evaluaron la distribución y signos de alteración ambiental de los microplásticos retenidos en la matriz porosa y en el complejo radicular de *Phragmites australis*. El estudio constató una marcada variación longitudinal, con una reducción significativa de la abundancia de partículas desde la zona de entrada hasta el centro del humedal, lo que sugiere una elevada capacidad de retención física por parte del sustrato y la vegetación. Asimismo, se observaron diferencias en la distribución vertical de los microplásticos en función de su tamaño y composición polimérica: mientras que las capas más superficiales (0–5 cm) concentraron los mayores picos de abundancia (hasta 566 ± 35,8 MP/g de peso seco en la entrada) probablemente derivados de entradas recientes o eventos de desbordamiento, los estratos profundos (15–40 cm) acumularon preferentemente partículas de menor tamaño (<100 µm) y polímeros de mayor densidad (como PET), favorecidos por la sedimentación, la colonización por biopelículas y el transporte convectivo. Con respecto a los microplásticos retenidos, se identificaron evidencias físicas de deterioro superficial (deformaciones, grietas y decoloración), junto con alteraciones químicas detectadas mediante microespectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (µFTIR), caracterizadas por un incremento en las bandas correspondientes a grupos carbonilo (C=O), hidroxilo (O-H) y carbono-oxígeno (C-O), atribuibles a procesos de oxidación e hidrólisis producidos durante su prolongado tiempo de permanencia (Echeverría-Puertas et al., 2026).

3.2. Pavimentos permeables

Los pavimentos permeables constituyen un SUDS destinado a favorecer la infiltración de la escorrentía urbana y retener contaminantes en la fuente. Al evaluar su capacidad de captura a largo plazo en condiciones reales de servicio, se ha demostrado que losas de hormigón poroso expuestas durante cinco años en una plaza peatonal de Valencia acumularon una abundancia de 10.272 ± 5.829 MP/m² (7,5 veces superior al nivel basal de losas nuevas). Con base en esto, los autores estimaron una acumulación media anual de aproximadamente 2.054 MP/m²/año a partir de la abundancia registrada tras cinco años de servicio. La caracterización evidenció un predominio de fibras sintéticas (70–73%) retenidas en la matriz porosa. Tras cinco años de servicio, la capacidad de infiltración medida in situ fue de aproximadamente 1.660 mm/h, superior al valor de referencia de 450 mm/h recogido en la guía local citada por los autores. Por otra parte, los ensayos de laboratorio realizados con losas usadas mostraron que el lavado a presión aumentó su permeabilidad de 1.076 a 1.531 mm/h, una mejora aproximada del 42% respecto al valor previo a la limpieza. Estos resultados muestran la capacidad de las losas porosas para retener microplásticos y destacan la importancia del mantenimiento para conservar su funcionalidad hidráulica (Calzadilla-Cabrera et al., 2026).

3.3. Contribución de los antecedentes al planteamiento de NatUrb

Los trabajos desarrollados por el equipo han permitido avanzar desde la caracterización de microplásticos en el agua hasta el estudio de su distribución en los distintos componentes de

las SbN. Los resultados obtenidos en humedales de tratamiento, humedales de restauración ecológica y pavimentos permeables evidencian la importancia de los medios porosos, los sedimentos y la vegetación en la retención de estas partículas. En conjunto, aportan una base experimental para comprender cómo influye la configuración de cada sistema en su comportamiento y dónde se concentra la contaminación retenida (Calzadilla Cabrera et al., 2023; Calzadilla-Cabrera et al., 2026; Caprar et al., 2026). A partir de este conocimiento, el interés de la investigación se extiende hacia lo que ocurre después de la retención. El estudio del envejecimiento de los microplásticos introduce una nueva perspectiva al relacionar su acumulación con cambios en sus características físicas y químicas (Echeverría-Puertas et al., 2026). De este modo, junto a la capacidad de las SbN para interceptar partículas, surge la necesidad de profundizar en su evolución dentro de estas infraestructuras y en las condiciones que pueden favorecer su transformación.

En respuesta a estas cuestiones, NatUrb plantea estudiar la relación entre el envejecimiento de las partículas y las comunidades microbianas que las colonizan, con especial interés en su potencial de biodegradación. Esta continuidad permitirá vincular los resultados previos con criterios que orienten el diseño y la gestión de las SbN.

4. Metodología del Proyecto NatUrb

El proyecto combinará el seguimiento de instalaciones a escala real, la caracterización de los contaminantes y el desarrollo de modelos matemáticos. Esta aproximación permitirá relacionar los procesos observados en los distintos componentes de las SbN con su funcionamiento y trasladar los resultados a herramientas de diseño y gestión.

4.1. Seguimiento y caracterización de microcontaminantes

Se estudiarán humedales artificiales y SUDS actualmente en funcionamiento. Los puntos de muestreo por sistema serán: entrada y salida de agua, y puntos internos. Durante dos años se realizarán dos campañas anuales de agua y una de matrices sólidas. Se recogerán muestras de sedimentos, medios filtrantes y vegetación, obteniendo perfiles de profundidad cuando corresponda.

El análisis incluirá productos farmacéuticos y de cuidado personal, PFAS, hidrocarburos aromáticos policíclicos y microplásticos. Paralelamente, se medirán parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua para interpretar su relación con el comportamiento de los microcontaminantes y evaluar la aptitud de los efluentes para distintos usos de reutilización.

4.2. Envejecimiento de microplásticos y caracterización de la plastisfera

Los microplásticos se caracterizarán según su tamaño, forma, color y composición polimérica. La observación microscópica permitirá describir su deterioro superficial, mientras que el análisis mediante espectroscopía se empleará para estudiar alteraciones químicas relacionadas con el envejecimiento. Estas características se compararán entre matrices, posiciones y profundidades para identificar patrones de alteración en las instalaciones. De forma complementaria, se estudiará la plastisfera, mediante extracción de ADN, secuenciación metagenómica y análisis bioinformático, para caracterizar las comunidades microbianas asociadas y explorar su potencial funcional. Esta aproximación se apoya en la experiencia previa del grupo en la caracterización de biofilms y comunidades microbianas en sistemas de distribución de agua potable, incluyendo la identificación de microorganismos asociados a procesos de corrosión de materiales (Moreno et al., 2024).

La integración de estos resultados con los indicadores de envejecimiento permitirá estudiar su relación con el potencial de biodegradación de los polímeros.

4.3. Modelización y aplicación al diseño y la gestión

Los datos experimentales se incorporarán a modelos basados en procesos, con distintos niveles de complejidad y resolución espacial. Los modelos se calibrarán con datos de investigaciones previas y se validarán con los obtenidos durante el proyecto. La comparación entre modelos permitirá seleccionar aproximaciones que combinen capacidad explicativa y facilidad de aplicación. Estas herramientas se utilizarán para estudiar el efecto de la configuración y las condiciones de operación sobre el control de contaminantes, evaluar la contribución de los SUDS a la planificación integrada del saneamiento y analizar su potencial para contribuir a la reducción de la contaminación asociada a los desbordamientos de aguas de tormenta, en línea con el objetivo indicativo de limitar su carga contaminante anual al 2% de la carga recogida en condiciones de tiempo seco (Directiva (UE) 2024/3019, Art. 5 y Anexo V).

4.4. Transferencia y criterios técnicos

El conocimiento generado se integrará en inventarios de humedales y SUDS a escala real y en criterios para su planificación, diseño y gestión. Asimismo, se promoverá la participación de administraciones, empresas y otros agentes del sector en iniciativas de normalización técnica. La difusión de datos, herramientas y resultados facilitará su aplicación y la continuidad de la investigación.

A continuación, se relacionan los principales avances de los estudios previos del equipo con las cuestiones que abordará NatUrb y su utilidad prevista para el diseño y la gestión de las SbN (**Cuadro 1**).

Cuadro 1. Aportes de los estudios previos, continuidad de la investigación en NatUrb y utilidad para el diseño y la gestión de las SbN.

Aporte de los antecedentes	Conocimiento que se ampliará en NatUrb	Utilidad para el diseño y la gestión de las SbN
Caracterización de la presencia y distribución de microplásticos en agua y matrices sólidas.	Profundizar en el destino de los microcontaminantes y en la contribución de los distintos componentes a su retención.	Definir dónde tomar muestras y qué parámetros analizar para evaluar el funcionamiento de las instalaciones.
Identificación de la acumulación de microplásticos en medios porosos, sedimentos y materiales asociados a raíces.	Relacionar los patrones de acumulación con la configuración y las condiciones de operación.	Aportar criterios para diseñar y gestionar los medios filtrantes y zonas vegetadas, para favorecer la retención de contaminantes.
Observación de alteraciones físicas y químicas en microplásticos retenidos.	Estudiar su relación con las características de la plastisfera y el potencial de biodegradación.	Incorporar el destino y la transformación de las partículas a la evaluación de las SbN.
Evaluación de pavimentos permeables en condiciones reales de servicio.	Profundizar en la relación entre acumulación de contaminantes y funcionamiento del sistema.	Aportar información para orientar el seguimiento y mantenimiento de estas infraestructuras.
Disponibilidad de datos experimentales de distintas instalaciones.	Desarrollar y contrastar modelos que representen los procesos de retención y transformación.	Generar herramientas de apoyo al diseño, la operación y la planificación integrada del saneamiento.

Fuente: Autores.

5. Conclusiones

La Directiva (UE) 2024/3019 refuerza la necesidad de una gestión integrada del saneamiento urbano, en la que las soluciones basadas en la naturaleza (SbN), como los humedales artificiales y los SUDS, pueden contribuir al control de los microcontaminantes, la regeneración del agua y la recuperación de nutrientes. Frente a los tratamientos convencionales, donde las partículas extraídas de la línea de agua se transfieren a los lodos de depuradora con el consiguiente riesgo de reintroducción en el medio terrestre, las SbN ofrecen la ventaja estratégica de retener y estabilizar los contaminantes en sus propios medios filtrantes y sustratos vegetados. Los antecedentes experimentales del equipo muestran la capacidad de estas infraestructuras para retener microplásticos y aportan evidencias de alteración y envejecimiento de las partículas acumuladas.

Sobre esta base, NatUrb profundizará en el destino y la transformación de los microplásticos retenidos, relacionando sus características con las comunidades microbianas que los colonizan y explorando su potencial de biodegradación. La integración del seguimiento a escala real con modelos matemáticos que representen el transporte, la retención y la

transformación de los contaminantes permitirá desarrollar criterios técnicos y herramientas de apoyo al diseño, la operación y la planificación de las SbN, en consonancia con los retos del nuevo marco europeo.

6. Agradecimientos

Esta comunicación se enmarca en el proyecto NatUrb (PID2025-173983OB-I00), financiado por MICIU/AEI/10.13039/501100011033. Julie Echeverría-Puertas agradece al Programa de Ayudas de Investigación y Desarrollo (PAID-01-24) de la Universitat Politècnica de València.

7. Bibliografía

[1] Calzadilla Cabrera, D., Wang, Q., Martín, M., Rajadel, N. O., Rousseau, D. P. L., & Hernández-Crespo, C. (2023). Microplastics occurrence and fate in full-scale treatment wetlands. *Water Research*, 240, 120106. https://doi.org/10.1016/j.watres.2023.120106

[2] Calzadilla-Cabrera, D., García-Haba, E., Hernández-Crespo, C., Martín, M., & Andrés-Doménech, I. (2026). Environmental Performance of Mature Precast Slabs in Permeable Pavements: Hydraulic Functionality and Pollutant Retention Under Real-Life Conditions. *Water*, 18(9), 1042. https://doi.org/10.3390/w18091042

[3] Caprar, I., Monerris, M. M., Hernandez-Crespo, C., Calzadilla Cabrera, D., & Baciu, C. (2026). Assessing the Potential Microplastic Sources and Retention Efficiency in Valencia's Tancat de la Pipa Wetland. *Applied Sciences*, 16(17), 8748. https://doi.org/10.3390/app16178748

[4] Directiva (UE) 2024/3019 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 27 de noviembre de 2024, sobre el tratamiento de las aguas residuales urbanas, Diario Oficial de la Unión Europea (2024).

[5] Echeverría-Puertas, J., Martín, M., Asensi, E., Rajadel, N. O., Rousseau, D. P. L., & Hernández-Crespo, C. (2026). Assessment of microplastics accumulation and aging in horizontal subsurface flow constructed wetlands. *Water Research*, 306, 126516. https://doi.org/10.1016/j.watres.2026.126516

[6] Kadlec, R. H., & Wallace, S. D. (2009). *Treatment wetlands* (2nd ed.). CRC Press.

[7] Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (2022). *Lodos de depuración de aguas residuales: Cantidades totales producidas y utilizadas en agricultura. Gobierno de España*. https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/sgresiduos/lodos/Lodos%20de%20depuraci%C3%B3n%20de%20aguas%20residuales%202022.pdf

[8] Moreno, Y., Moreno-Mesonero, L., Soler, P., Zornoza, A., & Soriano, A. (2024). Influence of drinking water biofilm microbiome on water quality: Insights from a real-scale distribution system. *Science of The Total Environment*, 921, 171086. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.171086

[9] Soursou, V., Campo, J., & Picó, Y. (2024). Spatio-temporal variation and ecological risk assessment of microplastics along the touristic beaches of a Mediterranean coast transect (Valencia province, East Spain). *Journal of Environmental Management*, 354, 120315. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.120315

[10] Soursou, V., Modugno, F., La Nasa, J., Giannarelli, S., Andreu, V., & Campo, J. (2025). Co-occurrence of microplastics and polycyclic aromatic hydrocarbons in the Júcar River basin (E Spain): The benchmark before 2024's floods. *Environmental Chemistry and Ecotoxicology*, 7, 1967-1979. https://doi.org/10.1016/j.enceco.2025.07.013

[11] Vymazal, J. (2010). Constructed Wetlands for Wastewater Treatment. *Water*, 2(3), 530-549. https://doi.org/10.3390/w2030530

[12] Woods Ballard, B., Wilson, S., Udale-Clarke, H., Illman, S., Scott, T., Ashley, R., & Kellagher, R. (2015). *The SuDs Manual*. CIRIA.