



Valle Residencial Los Monasterios, un ejemplo de gestión integral con soluciones basadas en la naturaleza

En el presente artículo se muestra el caso de una urbanización que realiza una gestión integral del ciclo urbano del agua. Se trata de Valle Residencial Los Monasterios (Puzol, Valencia), la cual se encarga de proporcionar agua de abastecimiento a sus vecinos, posteriormente depurarla, para cerrar el ciclo reutilizándola en riego de jardines y alimentar así, de forma indirecta, el acuífero desde el que se abastecen. Para tal cometido han optado por la implementación de soluciones basadas en la naturaleza sobre una antigua estación depuradora de aguas residuales (EDAR) de fangos activados con aireación prolongada, con el fin de optimizar el sistema de tratamiento y regeneración de las aguas residuales domésticas generadas en la urbanización. Con ello, se ha conseguido una perfecta integración paisajística de la EDAR, en la que además se está llevando a cabo una labor divulgativa de suma importancia.

Palabras clave

Humedales artificiales, soluciones basadas en la naturaleza, tratamientos extensivos, descentralización, renaturalización, Renaturwat.

VALLE RESIDENCIAL LOS MONASTERIOS: AN EXAMPLE OF INTEGRATED MANGEMENT OF THE URBAN WATER CYCLE WITH NATURE-BASED SOLUTIONS

This article shows the case of an urbanisation which carries out integrated management of the urban water cycle. This is Valle Residencial Los Monasterios (Puzol, Valencia), which is responsible for supplying water to its residents, subsequently treating it and closing the cycle by reusing it to irrigate gardens, thus indirectly feeding the aquifer from which it is supplied. For this purpose, they have opted for the implementation of nature-based solutions on an old wastewater treatment plant (WWTP) of activated sludge with extended aeration, in order to optimise the treatment and reclamation system of the domestic wastewater generated in the urbanisation. In this way, the WWTP has been perfectly integrated into the landscape, and is also carrying out an important dissemination action.

Keywords

Treatment wetlands, nature-based solutions, extensive treatments, decentralization, renaturalization, Renaturwat.

Carmen Hernández-Crespo

Instituto de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente de la Universitat Politècnica de València

José Pablo Gadea

Fundació Mediambiental

Julio González Lozano

Sociedad Civil Particular Los Monasterios

Nuria Oliver Rajadel

Global Omnium Medioambiente, S.L.

Sonia Fernández Alba

Fundación Global Nature

Miguel Añó Soto

Empresa Mixta Valenciana de Aguas, S.A. (Emivasa)

Miguel Martín Monerris

Instituto de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente de la Universitat Politècnica de València



1. INTRODUCCIÓN

La depuración de las aguas residuales urbanas (ARU) generadas en pequeñas poblaciones puede llevarse a cabo mediante diversas tecnologías, entre las cuales figuran los biodiscos, los lechos de turba, los lagunajes, los filtros verdes o los humedales artificiales, entre otros (Salas *et al.*, 2007). Dependiendo del espacio disponible, se puede optar por tecnologías de tratamiento intensivas, cuando la superficie utilizable es muy reducida, o tratamientos extensivos, cuando se dispone de extensiones de terreno de mayor tamaño. Las tecnologías extensivas ofrecen una serie de beneficios ambientales destacables; por ejemplo, los humedales artificiales generan hábitat para la mejora de la biodiversidad y se pueden diseñar para depurar el agua sin consumo de energía ni reactivos químicos.

Una alternativa muy interesante es el uso combinado de ambos tipos de tratamiento, intensivos y extensivos, con el fin de aprovechar las bondades de cada uno de ellos (Salas, 2018). Es precisamente esta optimización lo que se viene poniendo en práctica desde 2013 en la EDAR del Valle Residencial Los Monasterios, una urbanización localizada entre los términos municipales de Puzol y Sagunto (Valencia, España), que cuenta con aproximadamente 1.500 habitantes equivalentes (he). En ella se han combinado sistemas de fangos activados, variante oxidación total, con humedales artificiales de carrizo y enea. Los Monasterios constituye un caso ejemplar de gestión integral del ciclo urbano del agua: la propia urbanización se encarga de proporcionar agua de abastecimiento a sus vecinos, posteriormente depurarla, para cerrar el ciclo reutilizándola en riego de jardines y

» El sistema de gestión integral del ciclo del agua adoptado en Valle Residencial Los Monasterios representa un modelo sostenible ambiental y económico. La implementación de soluciones basadas en la naturaleza, como son los humedales artificiales, ha proporcionado numerosos beneficios a la EDAR

alimentar así, de forma indirecta, el acuífero desde el que se abastecen. Esta gestión incluye la minimización de la huella de carbono ya que, por un lado, los humedales artificiales capturan CO₂ y, por otro, se han instalado paneles fotovoltaicos para autoproducción en la EDAR.

La gestión descentralizada del ciclo del agua conlleva además una serie de ventajas importantes: se evita la construcción de extensas redes de saneamiento, se minimizan las necesidades de bombeo de ARU y de rebombeo de aguas regeneradas, así como la posible existencia de fugas o alivios desde las mismas, cuando se supera su capacidad de transporte de agua. Estos alivios, conocidos como descargas de sistemas unitarios de saneamiento (DSU) cuando se trata de sistemas que transportan conjuntamente aguas residuales y pluviales, producen impactos muy negativos sobre los ecosistemas que los reciben. En estos puntos de alivio normalmente se vierte gran cantidad de residuos sólidos urbanos (toallitas higiénicas y otros) y agua con altas concentraciones de materia orgánica, materia en suspensión, nutrientes y contaminantes emergentes (Suárez y Puertas, 2005; Petrie, 2021; Hernández-Crespo y Martín, 2023).

En las siguientes secciones del artículo se describe con mayor detalle cada una de las etapas del ciclo integral del agua, poniendo especial énfasis en las etapas de depuración

y reutilización. Se exponen asimismo los principales aprendizajes y resultados obtenidos.

2. DESCRIPCIÓN Y RESULTADOS DEL SISTEMA DE GESTIÓN INTEGRAL DEL AGUA

2.1. ABASTECIMIENTO

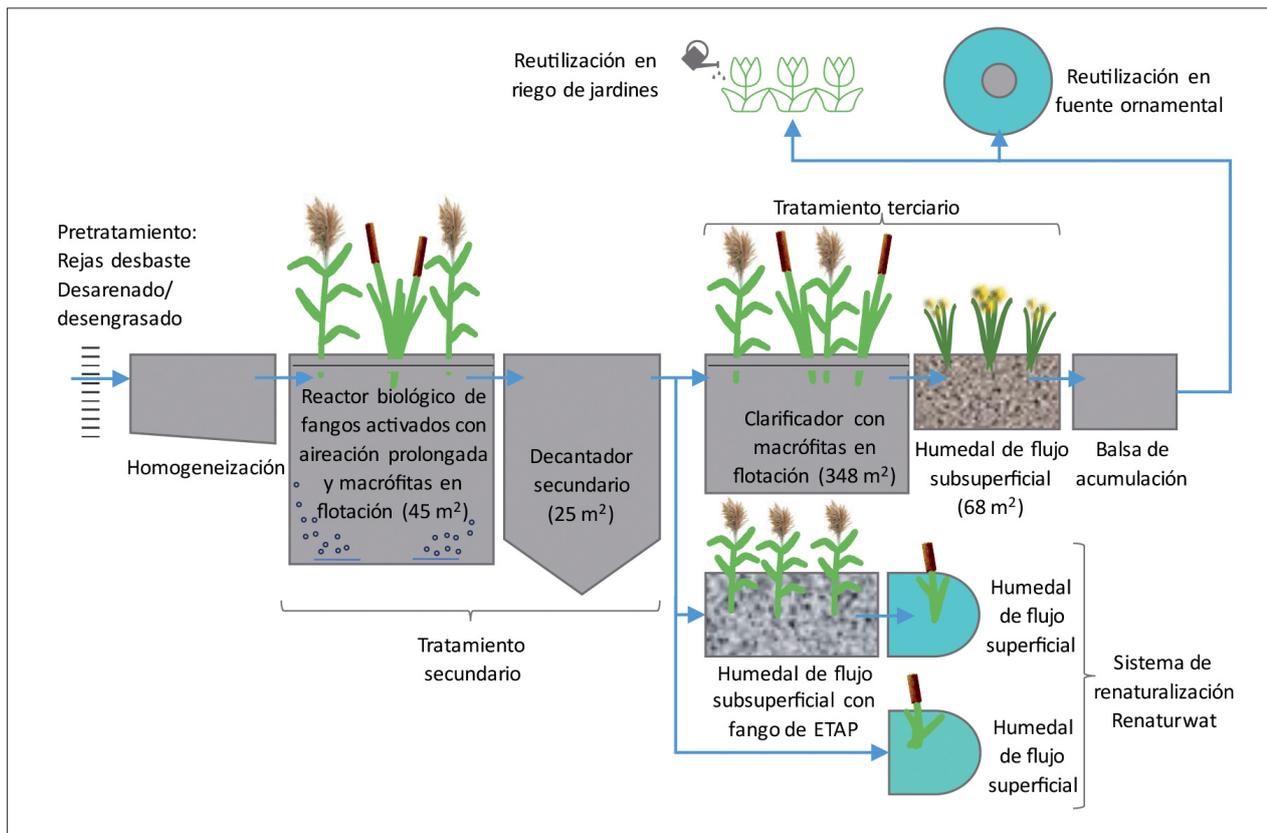
El abastecimiento a la población se realiza mediante la captación de agua subterránea a través de un sistema de pozos, bombeos, depósitos y red de tuberías. Concretamente, la urbanización cuenta con pozos propios con estaciones de bombeo, un suministro externo, y tres depósitos de 1.000 m³ de almacenaje. En los depósitos se lleva a cabo un estricto control de calidad del agua. El consumo diario de agua ronda los 2.780 m³/d en temporada alta (junio-septiembre) y 1.780 m³/d en baja.

2.2. DEPURACIÓN

La depuración de las aguas residuales generadas en la urbanización se lleva a cabo en una EDAR que consta de las siguientes etapas: pretratamiento, homogeneización, tratamiento secundario, tratamiento terciario, almacenamiento para reutilización y renaturalización (**Figura 1**). El caudal diario de tratamiento de ARU es de 150 m³/d.

El agua residual urbana entra en la planta bien por gravedad bien por bombeo desde un depósito de acumulación, dependiendo de la zona de la urbanización.

FIGURA 1. Esquema del sistema de tratamiento de la EDAR de Los Monasterios.



El pretratamiento (**Figura 2**) consta de un sistema de rejillas con limpieza automática que se encarga de interceptar residuos sólidos de gran tamaño que podrían obstaculizar el buen funcionamiento de las siguientes etapas. Los residuos recogidos en las rejillas (papel higiénico, toallitas, otros restos...) se recogen en contenedores y son gestionados por los servicios municipales de gestión de residuos. A continuación, se dispone de una zona de desarenado y desengrasado. Complementariamente, se realizan campañas de sensibilización ciudadana para concienciar sobre la importancia de no tirar por el inodoro toallitas, bastoncillos, compresas, etc., ya que estas no se deshacen y provocan verdaderos problemas de obstrucción en los sistemas de saneamiento y tratamiento.

A continuación, se encuentra la balsa de homogeneización (**Figura**

2), que tiene la finalidad de laminar las puntas de caudal de agua residual y producir un influente homogéneo para la siguiente etapa, el tratamiento secundario. La balsa de homogeneización tiene un volumen de 30 m³ y el agua permanece allí no más de 2 horas.

El tratamiento secundario (**Figura 2**) se lleva a cabo mediante un reactor biológico de fangos activados con aireación prolongada, también conocido como oxidación total y un sedimentador secundario. El sistema opera mediante aireación intermitente para lograr una reducción de la concentración de nitrógeno total, mediante procesos de nitrificación (fase aerobia) y desnitrificación (fase anóxica). La fase anóxica es más prolongada por la noche para hacer coincidir el consumo energético de la aireación durante las horas de luz con la producción de energía fotovoltaica.

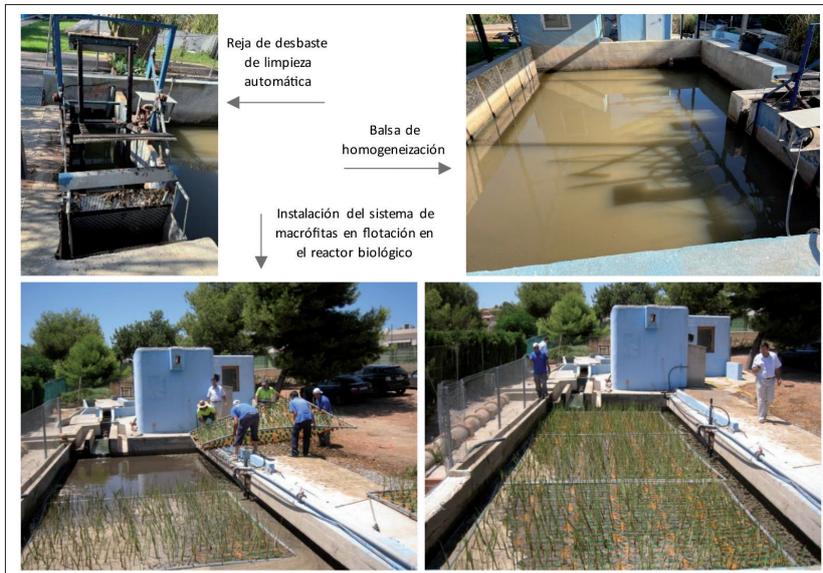
En este reactor biológico se han combinado tecnologías intensivas y extensivas. En el año 2013 se decidió instalar un sistema de macrófitas en flotación sobre la superficie del reactor. El impacto de dicha decisión fue extraordinariamente positivo. El beneficio ha sido múltiple: se redujo el consumo energético para aireación en un 48%, se consiguió una excelente integración paisajística, así como dotar al fango activado de una mayor resiliencia ante la llegada de puntas de contaminación o sustancias tóxicas.

El éxito de la instalación de las macrófitas en flotación se basa en:

- Reducción de consumo energético por el sistema de aireación. El sistema de aireación funciona mediante consigna de oxígeno disuelto en el reactor, establecido entre 0,7 y 1,1 mg/L, esto es, si el oxígeno



FIGURA 2. Fotografías de las etapas de pretratamiento, homogeneización y tratamiento secundario.



no disuelto en el reactor biológico baja del mínimo valor se activan las soplantes e inyectan aire al mismo, a través de unos difusores colocados en el fondo del reactor, y cuando se alcanza un valor de 1,1 mg/L las soplantes se detienen. A partir de la instalación de las macrófitas en flotación, las soplantes pasaron a activarse menos veces y durante menos tiempo. Esto es debido a varios factores, por un lado, las helófitas plantadas, carrizo (*Phragmites australis*) y enea (*Typha spp.*), inyectan cierta cantidad de oxígeno a través de sus raíces, de ahí su éxito adaptativo en zonas encharcadas. Que, en este caso, ese mecanismo sea más o menos significativo estaría por evaluar, pero podría contribuir. Por otro lado, el tapiz de plantas generado evita que las burbujas de aire escapen rápidamente del reactor, y el oxígeno de la burbuja tiene más tiempo para transferirse al agua, aumentando así la eficiencia de la aireación artificial.

- Integración paisajística. El reactor pasó de tener una imagen gris

(construcción de hormigón con superficie marrón burbujeante espumosa, típica de un sistema de fangos activados) a una imagen verde, un humedal, con una alta densidad vegetal, que es utilizada por diversas aves paseriformes. Además, esta vegetación fomenta la diversidad y también fija carbono, muy importante como medida frente al cambio climático.

- Resiliencia del fango activado. Sobre la superficie de las raíces crece una densa biopelícula constituida por bacterias y otros organismos, convirtiendo al sistema de fangos activados en una combinación de cultivo en suspensión y soporte fijo. Esta biopelícula adherida a las raíces representa un reservorio de bacterias y otros organismos que se encuentra más protegido en caso de llegada de puntas de carga contaminante o sustancias tóxicas. Si el cultivo en suspensión es afectado por la llegada de tales sustancias, el soporte fijo provee de microorganismos para la recuperación posterior de todo el sistema. Además, el sistema radicular

también juega un papel muy importante en la retención de microplásticos, dando lugar a un fango en suspensión con menor cantidad de estos contaminantes (Calzadilla *et al.*, 2023).

Tras el reactor biológico se encuentra el decantador secundario, donde tiene lugar la separación de los fangos del agua mediante sedimentación, obteniendo un efluente secundario con baja concentración de materia orgánica, sólidos en suspensión y nitrógeno amoniacal, que cumple los requerimientos de vertido. Los fangos se acumulan en el fondo del decantador, una parte de los cuales es recirculada al reactor biológico mediante un sistema Venturi o un bombeo de apoyo, y el resto son purgados. Al tratarse de un sistema de oxidación total, los fangos purgados se encuentran ya suficientemente estabilizados.

La EDAR tiene como proyecto añadir una planta piloto de compostaje mediante lombricultura a sus instalaciones. En esta se gestionarán los residuos orgánicos generados en la planta, entre los cuales figuran los recogidos en la etapa de pretratamiento, los fangos purgados del tratamiento secundario y los restos de poda de vegetación.

Gran parte de la energía necesaria para todos estos tratamientos es suministrada por una instalación fotovoltaica de 12 kWp, que confiere a la EDAR una autonomía energética actual del 30%.

El tratamiento terciario (**Figura 3**), destinado a la mejora microbiológica, consta a su vez de dos etapas. La primera está constituida de un humedal de clarificación con macrófitas en flotación con carrizo y enea, y la segunda por un humedal de flujo subsuperficial horizontal, plantado

con lirios amarillos (*Iris pseudacorus*). En este tratamiento combinado, la bacteria fecal indicadora, *Escherichia coli*, es reducida hasta niveles aptos para la reutilización del agua depurada en riego de jardines. El agua tratada tiene, asimismo, una elevada transparencia y cumple los requisitos establecidos en la autorización de reutilización concedida por la Confederación Hidrográfica del Júcar (calidad 1.2 establecida en el Real Decreto 1620/2007). Tras el tratamiento terciario, el agua se dirige bien a una balsa de almacenamiento, para riego de los jardines comunitarios privados y públicos.

En el año 2022 se decidió emplear esta depuradora como un *living lab* donde implementar un sistema de renaturalización demostrativo, gracias al apoyo financiero del programa Life de la Unión Europea, en el marco del proyecto Life Renaturwat. Los nuevos elementos de depuración se alimentan desde el sedimentador secundario.

Este sistema de renaturalización consta de dos líneas de tratamiento (**Figura 4**). La primera línea dispone de un humedal de flujo subsuperficial

FIGURA 3. Imágenes del tratamiento terciario en la puesta en marcha (izquierda) y años después (derecha).



ficial vertical intensificado (60 m²), seguido de un humedal de flujo superficial (50 m²), muy similar a un humedal natural. La calificación 'intensificado' está relacionada con el material filtrante del humedal, que en lugar de ser la grava que habitualmente se utiliza, es un material adsorbente de fósforo y otros contaminantes. Este material es un residuo que se genera en las estaciones de tratamiento de agua potable (ETAP),

concretamente el fango producido en los tratamientos de coagulación-floculación y sedimentación. Para poder valorizarlo como material filtrante en humedales artificiales, este fango debe deshidratarse, en este caso se empleó la centrífuga de la ETAP. Posteriormente se seca al aire hasta alcanzar una humedad inferior al 20% para, finalmente, ser desmenuzado en una molturadora de impacto con el fin de obtener una granulometría adecuada. El fango utilizado en este proyecto fue acondicionado y suministrado por la ETAP de La Presa (Manises, Valencia), gestionada por Emivasa.

El humedal de flujo vertical ha estado tratando una media de 50 m³/d y el de flujo superficial ha tratado un caudal medio de 16 m³/d. El tiempo de retención hidráulico es de unas tres horas y de un día y medio respectivamente.

En este humedal se consigue una reducción muy importante de la concentración de fósforo en el agua, en torno a un 75% (**Tabla 1**). Reducir el fósforo presente en las aguas residuales es esencial cuando

FIGURA 4. Imágenes de los humedales demostrativos implementados en el proyecto Life Renaturwat.





TABLA 1

CONCENTRACIONES MEDIAS EN DISTINTOS PUNTOS DE LA EDAR DE LOS MONASTERIOS EN EL PERIODO DE OCTUBRE DE 2022 A OCTUBRE DE 2023. Nota: HFSV = humedal de flujo subsuperficial vertical con fango de ETAP; y HFS = humedal de flujo superficial.

Variable de calidad del agua	Efluente del tratamiento secundario	Línea 1 de renaturalización		Línea 2 de renaturalización
		Efluente del HFSV	Efluente del HFS1	Efluente del HFS2
DQO (mg/L)	13,4	8,8	14,3	19,3
DBO ₅ (mg/L)	4,8	3,6	4,5	7,0
SST (mg/L)	4,6	2,0	3,8	7,7
PT (mg/L)	3,0	0,7	0,6	2,7
NT (mg/L)	16,2	14,9	12,6	12,2
<i>E. coli</i> (NMP/100 mL)	2,6·10 ⁴	4,5·10 ³	3,6·10 ²	4,8·10 ³

se pretende reutilizar el agua tratada para usos ambientales, especialmente cuando se desea alimentar ecosistemas acuáticos de carácter léntico, esto es, aquellos en los que la velocidad del agua es muy pequeña, como son las lagunas, lagos o humedales, ya que son sistemas muy sensibles a la eutrofización. También se reducen de forma significativa otros contaminantes, como los organismos patógenos. Específicamente, la bacteria *E. coli* se reduce en casi una unidad logarítmica (**Tabla 1**).

El humedal de flujo superficial tiene una doble finalidad: mejorar la calidad biológica del agua y generar hábitat para mejorar la biodiversidad del entorno. La calidad del agua mejora a nivel microbiológico, ya que se produce una desinfección adicional del agua, principalmente mediante fotooxidación, por acción de la radiación solar, y por depredación, por parte de macroinvertebrados acuáticos filtradores (Hernández-Crespo *et al.*, 2022). Así mismo, se produce una mejora a nivel microbiológico, ya que el sistema ha sido colonizado rápidamente por invertebrados acuáticos, anfibios o reptiles. Por otro lado, se mejora la biodiversidad del entorno, creando hábitat para dichos organismos, pero también

para las aves, que bajan al humedal a beber y alimentarse, y otros mamíferos como los murciélagos. Se han inventariado un total de 22 especies de aves, entre las cuales cabe destacar el mosquitero común o la lavandera boyera, aves migratorias que recorren distancias sorprendentemente largas con su pequeño tamaño, de apenas unos pocos gramos, y que se detienen en los humedales recreados a alimentarse y descansar. También se ha podido observar una gallineta común que parece estar estableciéndose para criar.

La segunda línea del sistema de renaturalización consta solamente de un humedal de flujo superficial del mismo tamaño y características que el de la primera línea. Este trata el mismo caudal diario que el de la línea 1, pero recibe directamente el agua efluente del tratamiento secundario. La idea de crear ambas líneas es demostrar los beneficios que tiene reducir el fósforo en el humedal de flujo subsuperficial previo. Hasta el momento, los resultados de calidad del agua indican que el primer humedal de flujo superficial tiene una calidad fisicoquímica y biológica mejor que el segundo (**Tabla 1**).

En ambos humedales de flujo superficial se ha llevado a cabo la intro-

ducción de una especie de anfibio, el gallipato (*Pleurodeles waltl*), cuya población se encuentra en regresión en las últimas décadas. Esta actuación ha sido fruto de la colaboración con el Centro de Conservación de Especies Dulceacuáticas de la Comunidad Valenciana. Por tanto, este tipo de actuaciones sirve también para apoyar programas de recuperación de especies protegidas.

Los alrededores de los humedales construidos han sido plantados con vegetación aromática y con flor para integrar paisajísticamente los elementos más artificiales (muros, láminas impermeables, arquetas) y favorecer la presencia de insectos beneficiosos (polinizadores y depredadores de plagas).

2.3. REUTILIZACIÓN

El agua regenerada en el tratamiento terciario se recoge en una balsa de acumulación desde la cual se alimenta el sistema de riego de los jardines públicos de la urbanización y una fuente ornamental transformada en un ecosistema lagunar mediante la colonización de vegetación específica de estos ecosistemas (**Figura 5**).

La reutilización del agua regenerada, junto con la valorización del fan-

FIGURA 5. Imágenes de la fuente ornamental alimentada con agua reutilizada y de los jardines regados también con este tipo de agua.



go de ETAP y de los residuos sólidos orgánicos, contribuyen a integrar los principios de la economía circular en el modelo de gestión integral.

3. USO PÚBLICO Y LIVING LAB

Una labor muy importante que se realiza en la EDAR es la divulgación del modelo de gestión integral adoptado, mediante la recepción de visitantes muy diversos, que van desde escolares de colegios e institutos, hasta estudiantes de universidad, investigadores y técnicos de empresas y administraciones. Para ello, se han instalado una serie de paneles explicativos hechos de madera plástica, un material producido mediante reciclaje de la fracción rechazo generada en las plantas de separación de residuos plásticos, constituida principalmente por bolsas de plástico desechables.

Actualmente, se está construyendo un aula didáctica en colaboración con el proyecto Life Hypobrick, en el que se está desarrollando una metodología de fabricación de productos de edificación, muy baja en emisiones y en la cual se pueden valorizar una amplia variedad de residuos industriales.

Además de esta labor divulgativa, la EDAR también está abierta a la participación en nuevos proyectos relacionados con la gestión integral

del agua. Otro ejemplo es la instalación de una unidad de humedal para vivienda unifamiliar (MET4home) en colaboración con la empresa Metfilter.

En definitiva, se trata de un laboratorio vivo al aire libre, o *living lab*, donde poder realizar investigaciones relacionadas con el tratamiento y la reutilización del agua usada en los domicilios, así como sobre la gestión y tratamiento de los residuos sólidos generados en la propia planta.

4. CONCLUSIONES

El sistema de gestión integral del ciclo del agua adoptado en Valle Residencial Los Monasterios representa un modelo sostenible tanto ambiental como económicamente. La implementación de soluciones basadas en la naturaleza, como son los humedales artificiales, ha proporcionado numerosos beneficios ambientales y económicos a la EDAR. La descentralización de la gestión y tratamiento de las aguas residuales facilita su reutilización en origen, integrando así los objetivos de desarrollo sostenible (ODS). En particular, es un paradigma a seguir para alcanzar el ODS 6 sobre agua limpia y saneamiento para todos, los ODS 11 y 12 sobre ciudades y comunidades sostenibles y producción y consumo responsables. Por último, la colabo-

ración con entidades de investigación para poner en práctica aplicaciones sostenibles en el marco de la depuración y reutilización, también permite incorporar los principios y metas del ODS 9, sobre industria, innovación e infraestructura.

5. AGRADECIMIENTOS

El proyecto Life Renaturwat recibe financiación del programa Life de la Unión Europea. Los socios del proyecto son: el Instituto de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente (Universitat Politècnica de València); Global Omnium Medioambiente; la Empresa Mixta Valenciana de Aguas (Emivasa), la Fundación Global Nature, el Grupo de Economía del Agua (Universitat de València), la Agencia EFE, Aguas de Portugal (AdP Valor), el Ayuntamiento de Carrícola, la Sociedad Civil Particular Los Monasterios y la Fundació Mediambiental.

Bibliografía

- [1] Cabrera, D.C.; Wang, Q.; Martín, M.; Rajadel, N.O.; Rousseau, D.P.; Hernández-Crespo, C. (2023). Microplastics occurrence and fate in full-scale treatment wetlands. *Water Research*, núm. 240, pág. 120.106. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2023.120106>.
- [2] Hernández Crespo, C.; Martín Moneris, M. (2023). Guía didáctica sobre diseño de humedales artificiales. Valencia: edUPV. <https://doi.org/10.4995/REA.2023.665301>.
- [3] Hernández Crespo, C.; Fernández Gonzalvo, M.I.; Miglio, R.M.; Martín, M. (2022). *Escherichia coli* removal in a treatment wetland - pond system: A mathematical modelling experience. *Science of The Total Environment*, núm. 839, pág. 156.237. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.156237>.
- [4] Petrie, B. (2021). A review of combined sewer overflows as a source of wastewater-derived emerging contaminants in the environment and their management. *Environ. Sci. Pollut. Res.*, núm. 28, págs. 32.095-32.110. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-14103-1>.
- [5] Salas, J.J. (2018). Humedales artificiales aireados: cómo intensificar lo extensivo. En *iagua blogs*: <https://www.iagua.es/blogs/juan-jose-salas-humedales-artificiales-aireados-como-intensificar-lo-extensivo>.
- [6] Salas, J.J.; Pidre, J.R.; Sánchez, L. (2007). Manual de tecnologías no convencionales para la depuración de aguas residuales. Centro de las Nuevas Tecnologías del Agua (CENTA).
- [7] Suárez, J.; Puertas, J. (2005). Determination of COD, BOD, and suspended solids loads during combined sewer overflow (CSO) events in some combined catchments in Spain. *Ecological Engineering*, núm. 24(3), págs. 199-217. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2004.11.005>.