



El cambio del paradigma del residuo al producto: la economía circular del tratamiento de aguas residuales. El caso de la PTAR de el Prat, Barcelona, España

Shifting the paradigm from waste to product: the circular economy in wastewater treatment. The case of the PTAR of Prat, Barcelona, Spain

Michelle Atala Urrea Vivas ² , Hilda Guerrero-García-Rojas ³ , Luis Alberto Seguí Amórtégui ¹  

¹ UVEGro. Universidad Virtual del Estado de Guerrero. México.

² Universitat Politècnica de Catalunya (UPC), Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Barcelona, España.

³ Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH), Facultad de Economía, Morelia.

Resumen

El presente trabajo analiza la transformación de las Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales (EDAR) en eco-fábricas en el Área Metropolitana de Barcelona (AMB). Se utilizó una metodología mixta que incluye revisión bibliográfica y análisis de documentación técnica. Los resultados muestran que las eco-fábricas permiten la regeneración y reutilización del agua, la autosuficiencia energética y la valorización de residuos. Las conclusiones destacan los beneficios ambientales, económicos y sociales de este modelo, así como los desafíos asociados a los costos energéticos y la aceptación social.

Palabras clave: Eco-fábricas, reutilización de agua, autosuficiencia energética, valorización de residuos, Barcelona

Introducción

Las plantas de tratamiento de aguas residuales se han convertido en el pilar fundamental para el desarrollo estratégico de una sociedad que está en continuo crecimiento. El objetivo principal de una Planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR), se basa en poder simular el ciclo hidrológico natural (Jodar-Abellan *et al.*, 2019), depurando y regenerando el agua residual para disminuir la carga de contaminantes al medio ambiente, además de proteger las fuentes hídricas, los ecosistemas, la salud pública y convertir el agua ya usada en una nueva fuente de recurso (X. Li *et al.*, 2021). Actualmente, la aspiración de lograr un futuro verde con cero emisiones es fundamental para mitigar el cambio climático. Las PTAR's son uno de los sectores con gran consumo energético y de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) (Wang *et al.*, 2016; Delre *et al.*, 2019), se estima que a nivel mundial consumen del 3% de la energía (Dickin *et al.*, 2020). Las plantas de tratamiento de aguas residuales han comenzado a desarrollar

Abstract

This paper analyses the transformation of Wastewater Treatment Plants (WWTP) into eco-factories in the Metropolitan Area of Barcelona. A mixed methodology was used, including a literature review and analysis of technical documentation. The results show that eco-factories enable water regeneration and reuse, energy self-sufficiency, and waste valorisation. The conclusions highlight the environmental, economic, and social benefits of this model, as well as the challenges associated with energy costs and social acceptance.

Keywords: Eco-factories, water reuse, energy self-sufficiency, waste valorisation, Barcelona.

Historial

Manuscrito recibido: 31 de octubre de 2025

Manuscrito aceptado: 19 de abril de 2026

Manuscrito publicado: agosto 2026

✉ Autor para correspondencia

Luis Alberto Seguí Amórtégui

lseguaia@uvegro.edu.mx

Como citar

Urrea Vivas MA, Guerrero-García-Rojas H, Seguí Amórtégui LA, (2026). El cambio del paradigma del residuo al producto: la economía circular del tratamiento de aguas residuales. El caso de la PTAR de el Prat, Barcelona, España. *Ciencia Nicolaita* 97:71-77. doi:[10.35830/cn.vi97.928](https://doi.org/10.35830/cn.vi97.928)

estrategias que tengan enfoques más sostenibles, con la finalidad de lograr la descarbonización por medio del nexo “agua-residuos-energía”. El aumento en la densidad poblacional en las grandes ciudades y su tendencia a la urbanización requiere mayores niveles de tratamiento debido a los estándares impuestos para la descarga de aguas residuales (Mo y Zhang, 2012), implicando elevar las capacidades de tratamiento y por ende el consumo energético.

La creciente presión sobre los recursos hídricos, deri-

vada del incremento demográfico, la variabilidad climática y la contaminación, ha llevado a reconsiderar el tratamiento y reutilización del agua como estrategia esencial para garantizar la disponibilidad futura. Según Berbel *et al.* (2023), la reutilización del agua residual constituye una oportunidad para apoyar la economía circular, optimizar los recursos y reducir la presión sobre los ecosistemas acuáticos. Sin embargo, esta actividad requiere asegurar la protección de la salud y del medio ambiente mediante estándares de calidad adecuados y planes de gestión de riesgos. El Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (2025) destaca que la reutilización de aguas regeneradas se ha convertido en un componente de la gestión integrada del recurso, aportando beneficios como liberar volúmenes de agua de mayor calidad para otros usos, incrementar los recursos en zonas costeras y garantizar mayor regularidad de suministro.

Las políticas europeas han evolucionado hacia un marco regulatorio más estricto. El Reglamento (UE) 2020/741 establece requisitos mínimos para la reutilización de aguas urbanas en la agricultura, introduciendo la obligación de planes de gestión del riesgo y transparencia en los sistemas de reutilización. En España, el Real Decreto 1620/2007 marcó el régimen jurídico de la reutilización de las aguas depuradas, y su actualización mediante el Real Decreto 1085/2024 refuerza las condiciones básicas y promueve la sustitución del agua de fuentes convencionales por agua regenerada. Este nuevo escenario exige que las infraestructuras de saneamiento dejen de ser meras instalaciones lineales para convertirse en ecosistemas productivos capaces de recuperar recursos, generar energía y aportar valor a la sociedad.

El concepto de eco-factoría es una instalación de transformación del agua residual en recursos que se rige por principios de sostenibilidad y circularidad, basada en la regeneración del agua tratada para su reutilización, la autosuficiencia energética y la minimización y valorización de residuos. Las eco-factorías del Besòs y del Baix Llobregat, que abastecen a más de tres millones de personas en el Área Metropolitana de Barcelona, ilustran la transición de una planta depuradora convencional a un centro que produce agua regenerada, biogás, fertilizantes y energía verde, al tiempo que minimiza el impacto sobre el entorno. Este trabajo analiza el marco conceptual, tecnológico y económico de esta transformación, valorando sus beneficios y desafíos.

Materiales y métodos

Para la elaboración de este estudio se adoptó un enfoque

metodológico mixto. En primer lugar, se realizó una revisión bibliográfica exhaustiva de artículos científicos indexados en la base de datos Journal Citation Reports (JCR) que analizan la regeneración y reutilización de aguas residuales, la economía circular aplicada al ciclo del agua y los marcos regulatorios europeos y españoles. Entre ellos se incluyen trabajos que valoran económicamente el potencial de la reutilización y destacan las ventajas y barreras de su implementación en España. La selección de literatura se complementó con el estudio de Berbel *et al.* (2023) sobre los retos del Reglamento 2020/741.

En segundo lugar, se analizó la documentación técnica proporcionada por el Área Metropolitana de Barcelona (AMB), esta información describe las líneas de trabajo que conforman una eco-factoría, diferenciando entre agua, energía, recursos, entorno, activos y personas. El informe de Depurbaix ofrece datos concretos sobre la planta de tratamiento del Prat de Llobregat: ubicación, capacidades de tratamiento, usos previstos del agua regenerada y evaluaciones de impacto. Este informe se digitalizó y analizó con ayuda de herramientas de procesamiento de texto para extraer las cifras relevantes.

El caso de estudio se centra en las eco-factorías de Besòs y Baix Llobregat. Se describen sus procesos de tratamiento primario, secundario y terciario, la recuperación de energía mediante digestión anaerobia y cogeneración de biogás, y las sinergias con otras instalaciones. También se revisa la planificación de la gestión de lodos (pla de fangs) y la respuesta a eventos extremos como la sequía y un incendio reciente en 2022.

Finalmente, se elaboró una matriz de impactos basada en el informe de Depurbaix para clasificar y valorar los efectos positivos y negativos de la reutilización, considerando factores como emisiones de CO₂, costes de infraestructura, incorporación de metales pesados a la agricultura, incremento de recursos hídricos y aceptación social. Los resultados se organizaron en tablas y figuras que resumen la calidad del agua requerida para cada uso, los caudales asignados y las tecnologías aplicadas.

Resultados

Contexto y estructura de las eco-factorías de Barcelona

AMB gestiona el ciclo integral del agua para cerca de tres millones de personas en el área metropolitana, desde la captación hasta la potabilización, distribución, saneamiento y depuración. Las Ptar's del Besòs y del Baix Llobregat representan las principales instalaciones de tratamiento. La transición hacia eco-factorías implica cambiar el es-

quema lineal de “tomar-usar-desechar” por un modelo circular en el que se recuperan agua, energía y materiales. La eco-factórea se define como una instalación capaz de transformar el agua residual en recursos, trabajando bajo principios de sostenibilidad y circularidad: regenerar el agua para su reutilización, alcanzar la autosuficiencia energética y minimizar y valorizar los residuos. Este cambio se ilustra mediante diagramas de flujo que comparan la PTAR convencional con la eco-factórea, donde se incorporan procesos de codigestión, cogeneración, producción de biometano, recuperación de nutrientes y generación de energía verde. En la **Figura 1** se presenta el diagrama general de la PTAR del Prat.

Líneas de trabajo y tecnologías empleadas

La eco-factórea se organiza en seis líneas globales: agua, energía, recursos, entorno, activos y personas. En la línea de agua se contempla la regeneración y reutilización mediante tratamientos avanzados como filtración, desinfección UV, ultrafiltración, ósmosis inversa y electrodiálisis reversible (EDR). En energía, se persigue la reducción del consumo energético y el aumento de la producción de biogás, biometano y energía verde. La línea de recursos

se centra en la valorización de arenas, desbastes, grasas y plásticos, la reducción de producción de fangos, la mejora de la calidad de los lodos y la recuperación de nutrientes (N y P) y productos químicos. El entorno busca eliminar impactos negativos y potenciar la naturalización de las instalaciones; los activos se gestionan bajo criterios de gestión de activos completa, y la línea de personas abarca educación ambiental, sensibilización y participación ciudadana.

Usos y caudales de agua regenerada en Depurbaix

El informe de Depurbaix detalla que la planta del Prat de Llobregat puede suministrar hasta 50 hm³ de agua regenerada al año. Los usos previstos incluyen: (a) caudal de mantenimiento en el tramo bajo del río Llobregat (máximo 2.0 m³/s); (b) riego del Parc Agrari del Baix Llobregat (0.75 m³/s); (c) mantenimiento de los humedales del delta (0.4 m³/s); y (d) recarga de la barrera hidráulica contra la intrusión salina, con 15 000 m³/día. Estos usos cumplen el Real Decreto 1620/2007 y el nuevo RD 1085/2024 y permiten liberar recursos de origen superficial y subterráneo para otros usos.

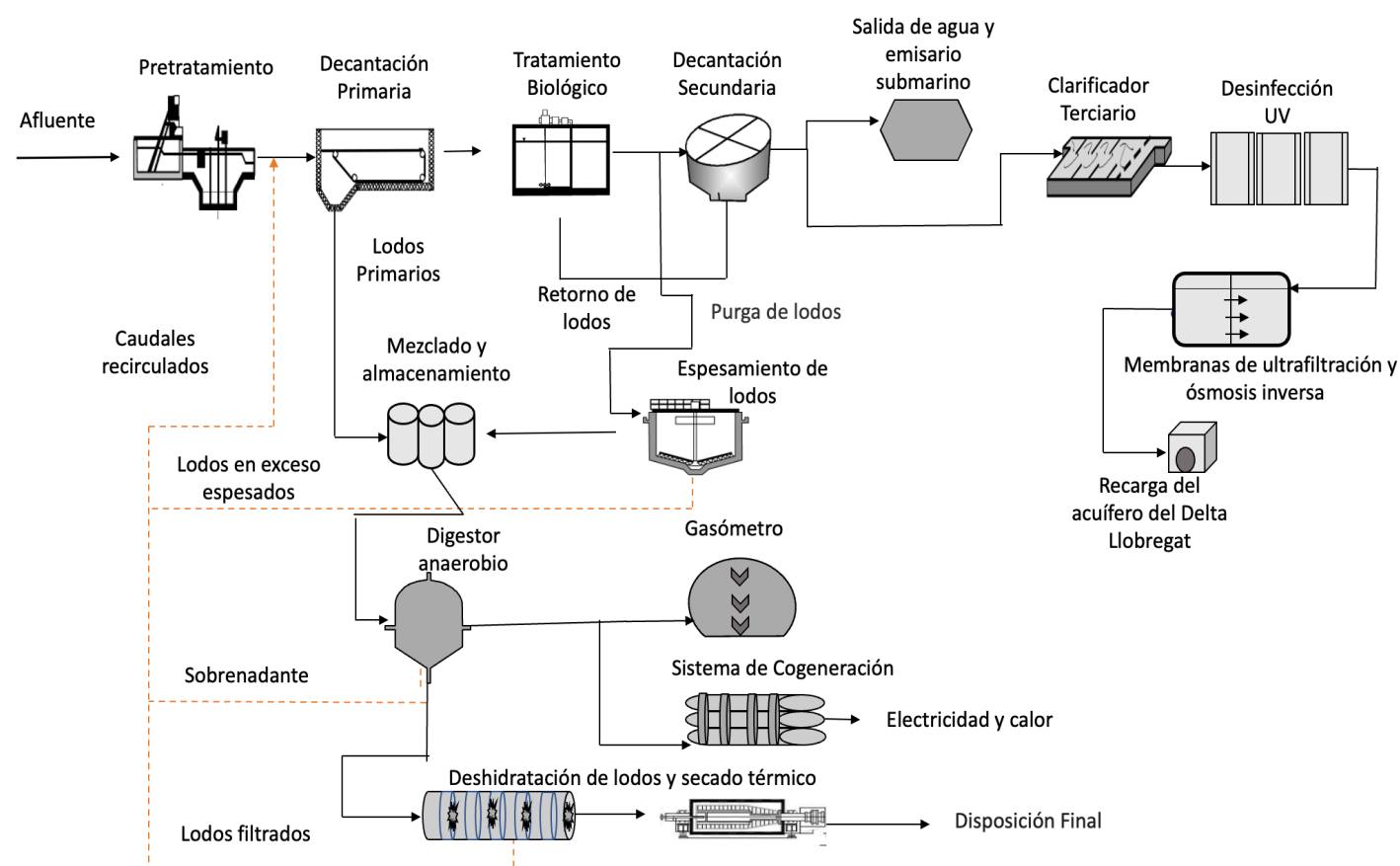


Figura 1. Sistema de Tratamiento de Aguas residuales ‘El Prat de Llobregat’.

Procesos de tratamiento terciario

A partir del tratamiento biológico secundario, Depurbaix aplica tratamientos específicos para cada uso. Para el caudal ecológico y el mantenimiento de humedales, el agua pasa por floculación-coagulación lastrada, decantación lamelar, filtración y desinfección por UV. Para la barrera contra intrusión salina se añaden ultrafiltración y, en el 50% del caudal, ósmosis inversa, seguida de cloración. Para el riego del Parc Agrari se incorpora electrodialisis reversible para reducir el contenido salino en un 75%. Estas cadenas de tratamiento generan tres calidades de agua adaptadas a los requisitos de cada uso. En las tablas 1 y 2 se presentan las principales características técnicas de la línea de agua y la línea de lodos.

Matriz de impactos y evaluación económica

El estudio identifica impactos negativos como los costes de inversión y operación de las infraestructuras, las emisiones de CO₂ asociadas al consumo energético (estimadas en 0.0918 kg CO₂ por m³ de agua regenerada producido), la posible adición de metales pesados y sales al suelo agrícola, la generación de rechazos salinos en los tratamientos por membranas y el posible rechazo social a

la reutilización. Entre los impactos positivos se señalan el incremento de los recursos hídricos disponibles (hasta 50 hm³/año), la mejora de la calidad del acuífero del Delta del Llobregat, la aportación de nutrientes (N y P) a la agricultura, el aumento de la garantía de suministro y la mejora de la cultura del agua. El informe concluye que el coste de producción de agua regenerada para usos agrarios puede ser competitivo (≈ 0.42 €/m³) si se asumen subvenciones o se aplican tarifas diferenciales para agricultores y usuarios urbanos.

Resultados operacionales y experiencias recientes

Las eco-factorías del Besòs y Baix Llobregat han conseguido disminuir su consumo energético mediante la optimización de procesos, la recuperación de calor y la cogeneración de energía eléctrica. Se ha incrementado la producción de biogás y se han iniciado proyectos piloto de biometano. La implementación de planes directores de fangos ha permitido reducir la generación de lodos y mejorar su calidad, convirtiéndolos en productos valorizables como fertilizantes. Programas como Life Nimbus han impulsado el uso de energías renovables y la digitalización para optimizar el rendimiento. Sin embargo, eventos ex-

Tabla 1. Datos referentes al funcionamiento de la línea de aguas residuales (depuración y regeneración).

<i>Características afluentes</i>	
Caudal de agua residual	198 630 m ³ /d
DBO ₅	470 mg/L
Sólidos suspendidos totales	529 mg/L
Sólidos suspendidos totales después del desarenado	(Metcalf y Eddie, 2018) (residuales 489 mg/L)
<i>Sedimentación Primaria</i>	
DBO ₅ eliminada	63% respecto de la entrada de la planta, no a la entrada del primario incluye drenajes 33% generalmente
<i>Proceso secundario</i>	
Sólidos suspendidos del líquido de la mezcla	3.872 mg/L
Fracción volátil de sólidos suspendidos del líquido de la mezcla	73% SSVLM
Y _{obs} (bacterias carbonosas, desecho celular y SSV no biodegradables en el afluente)	0.53
<i>Proceso terciario</i>	
Sólidos suspendidos del líquido de la mezcla	12.83 mg/L
Fracción volátil de sólidos suspendidos del líquido de la mezcla	95% SSVLM
DBO ₅	4.67 mg/L
<i>Características del efluente</i>	
DBO ₅	6 mgO ₂ /L
Sólidos suspendidos	14 mg/L

*La DBO₅ se valora como parámetro fundamental para la evaluación de la eficiencia del tratamiento biológico, mientras que la DQO se emplea de manera complementaria como indicador de carga orgánica total, la cual no fue considerada en el presente cálculo.

Table 2. Datos referentes al funcionamiento de la línea de lodos generados en el tratamiento de aguas residuales

Lodos primarios	Caudal (m ³ /d)	9 028
	ST (Kg/m ³)	13
	SV/ST	69% MSV
Lodos secundarios	Caudal (m ³ /d)	5 136
	ST (Kg/m ³)	6.96
	SV/ST	73%
Espesamiento (Fango espesado primario)	ST salida (Kg/m ³)	32
Espesamiento (Fango espesado biológico)	ST salida (Kg/m ³)	48
Digestión Anaeróbica	CH ₄ en biogás	62.76%
	Rendimiento eliminación SV	35%
Deshidratación	ST salida (Kg/m ³)	28

tremos como sequías severas y el incendio de noviembre de 2022 han evidenciado la necesidad de resiliencia y planes de contingencia.

Impacto socioeconómico y aceptación social

La aceptación social constituye un factor crítico para la implantación efectiva de los sistemas de reutilización de agua. Diversos estudios han puesto de manifiesto que agricultores y consumidores muestran reticencias a utilizar el agua regenerada, incluso cuando el riesgo de contaminación es insignificante. Estas reticencias se deben, en parte, a la ausencia de información fiable y a la falta de confianza en las instituciones gestoras del recurso.

El análisis de la literatura revela que la aceptación es más elevada para aplicaciones con bajo contacto humano, como el riego de jardines, campos de golf y el uso en la lucha contra incendios, mientras que disminuye notablemente en aplicaciones agrícolas y es mínima en usos que implican contacto directo o indirecto con los consumidores. Las campañas de sensibilización y educación pueden aumentar la aceptación social, pero la confianza en las autoridades y la percepción de la calidad del agua regenerada son elementos decisivos. La percepción del riesgo sanitario y la reacción psicológica conocida como “yuck factor” influyen de forma significativa en la actitud de los usuarios hacia la reutilización. Factores demográficos y socioeconómicos como edad, género, nivel educativo y renta también condicionan la disposición a utilizar aguas regeneradas. Por tanto, el diseño de políticas públicas debe basarse en datos empíricos y considerar estas variables para fomentar la reutilización de agua.

Economía circular y valorización de recursos

El paradigma de la economía circular concibe las aguas residuales como un recurso valioso y no como un residuo. En este contexto, el tratamiento de aguas residuales se considera un contribuyente importante a la economía circular, priorizando la reutilización y regeneración de materiales para reducir la presión sobre los recursos naturales.

Los procesos de depuración no sólo proporcionan agua regenerada, sino que también generan energía, fertilizantes y nutrientes, contribuyendo a la sostenibilidad energética y agrícola. La obtención de biogás y su conversión en electricidad o biometano, así como la recuperación de fósforo y nitrógeno en forma de fertilizantes, permiten cerrar el ciclo de la materia y diversificar las fuentes de ingresos de las eco-factorías.

Numerosos gobiernos y organismos internacionales han reconocido el potencial de las aguas residuales y han lanzado iniciativas para promover su valorización, al considerar que la reutilización genera crecimiento económico y reduce la dependencia de fuentes convencionales. Estos programas se articulan con los Objetivos de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas, concretamente con el ODS 6, que aboga por una gestión integrada y eficiente del ciclo del agua.

El aumento demográfico y el cambio climático están agravando la escasez hídrica a escala global. Alrededor del 36% de la población mundial vive en zonas con estrés hídrico. En este contexto, la reutilización de agua y la recuperación de recursos constituyen estrategias esenciales para asegurar el suministro y reducir la presión sobre las fuentes naturales.

Además del agua, las eco-factorías aprovechan el valor económico de los subproductos derivados del tratamiento. Los lodos pueden ser transformados en compost o biofertilizantes ricos en fósforo y nutrientes, que sustituyen a los fertilizantes químicos. Desde el punto de vista técnico, el camino “de residuo a recurso” se materializa a través de las etapas de tratamiento primario, secundario y terciario, que permiten producir agua regenerada de alta calidad y facilitan la extracción de recursos.

Discusión

Los resultados evidencian que la transformación de las PTAR's en eco-factorías ofrece importantes ventajas ambientales, económicas y sociales. La reutilización del agua reduce la presión sobre las fuentes convencionales, permite mantener caudales ecológicos y humedales y aporta seguridad frente a las sequías. La recuperación de energía mediante digestión anaerobia, cogeneración y producción

de biometano contribuye a la autosuficiencia energética y a la reducción de emisiones. La valorización de fangos y residuos disminuye la generación de desechos y cierra los ciclos de nutrientes.

Sin embargo, existen desafíos que deben abordarse para garantizar la sostenibilidad de las eco-factorías. En primer lugar, el coste energético de los tratamientos avanzados (ultrafiltración, ósmosis inversa, EDR) incrementa el precio del agua regenerada y la hace vulnerable a las fluctuaciones de los precios de la energía. Por ello, es crucial integrar fuentes de energía renovable y mejorar la eficiencia energética de los procesos. En segundo lugar, la presencia de metales pesados y sales en el agua regenerada puede afectar a la productividad agrícola y requiere sistemas de monitoreo y tratamiento adecuados. Tercero, la generación de rechazos salinos y su vertido al mar plantea retos ambientales, aunque en el caso del Delta del Llobregat la afección a la *Posidonia* oceánica se considera limitada.

El análisis económico muestra que la reutilización puede ser competitiva si se internalizan los beneficios externos y se aplican tarifas que recuperen costes. Los estudios señalan que los beneficios no financieros de la reutilización pueden justificar la inversión pública. No obstante, la viabilidad depende de un marco regulatorio claro y de la disponibilidad de financiación. El Reglamento 2020/741 y el RD 1085/2024 proporcionan bases legales que establecen y regula los parámetros de calidad mínima de las aguas tratadas para la reutilización. A su vez promueve la reutilización de aguas con especial énfasis en la gestión del riesgo, con el fin de garantizar la seguridad de los ciudadanos y la protección del medio ambiente. No obstante, persisten incertidumbres sobre los mecanismos de financiación y la distribución de costes entre usuarios y operadores.

La aceptación social es otro factor determinante. La reticencia de algunos agricultores y consumidores a utilizar agua regenerada se relaciona con percepciones de riesgo sanitario y con la falta de información. Las campañas de educación ambiental y la participación ciudadana, contempladas en las líneas de personas de la eco-factoría, son esenciales para fomentar la confianza. Asimismo, la transparencia en la gestión de los sistemas de reutilización y la comunicación de los beneficios y riesgos contribuyen a aumentar la aceptación.

Finalmente, la experiencia de AMB muestra que la implementación de eco-factorías es viable cuando existe una colaboración pública-privada, una planificación integral y una visión de largo plazo. La integración de innovaciones tecnológicas (por ejemplo, proyectos Life Nimbus), la resiliencia ante eventos extremos y el aprendizaje cons-

tante permiten que estas instalaciones evolucionen hacia modelos cada vez más sostenibles y replicables en otros territorios. Otros estudios señalan que la incorporación de enfoques de economía circular y la recuperación de productos de alto valor pueden aumentar la rentabilidad y la aceptación de la reutilización.

Las eco-factorías no son instalaciones estáticas; su evolución se sustenta en la investigación y la innovación continua. El proyecto europeo LIFE NIMBUS constituye un ejemplo de cómo las tecnologías emergentes pueden integrarse en las estaciones depuradoras para promover la economía circular y la descarbonización del transporte. NIMBUS, cofinanciado por el programa LIFE, tiene como objetivo generar biometano a partir de lodos de depuradora mediante tecnologías de power-to-gas y emplearlo como combustible sostenible para el transporte público. El sector del transporte consume en torno al 30% de la energía primaria en Europa, pero menos del 10% de los combustibles usados son renovables; la Unión Europea aspira a que más del 30% de la energía del transporte provenga de fuentes renovables en 2030. NIMBUS propone almacenar excedentes de energías renovables en forma de gas y transformar las depuradoras en eco-factorías que produzcan biometano, reduciendo más del 85% de la huella de carbono de un autobús urbano. Este proyecto demuestra el potencial de las sinergias entre el sector del agua y el del transporte, abriendo oportunidades para replicar el modelo en otras ciudades y sectores industriales.

Otra línea de innovación se centra en la digitalización y el control avanzado de procesos. El uso de sensores en tiempo real, inteligencia artificial y sistemas de apoyo a la decisión permite optimizar la operación de los reactores biológicos, ajustar la dosis de reactivos y reducir el consumo energético. Asimismo, se están explorando tecnologías de captura y aprovechamiento de CO₂ generado durante la digestión anaerobia para producir biopolímeros o microalgas.

El plan director de fangos del Área Metropolitana de Barcelona establece objetivos ambiciosos para la reducción y valorización de lodos. Incluye la implementación de tecnologías de hidrotermólisis, secado solar y codigestión con residuos orgánicos urbanos para aumentar la producción de biogás y mejorar la calidad del digestato. Además, se prevé la aplicación de sistemas de recogida selectiva de materias primas en las redes de saneamiento (por ejemplo, grasas y microplásticos) para facilitar su reciclaje. Estas acciones están alineadas con los principios de la economía circular y contribuyen a la autosuficiencia de las eco-factorías.

Conclusiones

La transición de las plantas depuradoras convencionales a eco-factorías representa un cambio de paradigma en la gestión del ciclo del agua. El caso de las eco-factorías del Besòs y del Baix Llobregat demuestra que es posible integrar la regeneración y reutilización del agua, la producción de energía renovable y la valorización de residuos en un mismo sistema, generando beneficios ambientales, económicos y sociales significativos. La reutilización permite aumentar la disponibilidad de agua y mantener ecosistemas fluviales y humedales, mientras que la recuperación de biogás y biometano contribuye a la autosuficiencia energética. La evaluación de impactos identifica costes y retos asociados a los tratamientos avanzados y a la gestión de salmueras y contaminantes, pero estos pueden ser mitigados mediante innovación tecnológica, uso de energías renovables y planificación estratégica. El marco regulatorio europeo y español proporciona una base para el desarrollo de proyectos de reutilización, aunque se requieren mecanismos claros de financiación y tarifas que incentiven la adopción. La aceptación social y la sensibilización ciudadana resultan determinantes para el éxito de las eco-factorías. En conclusión, las eco-factorías constituyen una vía prometedora para avanzar hacia una gestión circular y sostenible del agua, y su implementación en el Área Metropolitana de Barcelona ofrece un modelo replicable para otras regiones.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Área Metropolitana de Barcelona (AMB) y a la Escuela Superior de Agricultura de Barcelona por facilitar la información técnica sobre las eco-factorías del Besòs y del Baix Llobregat. Igualmente, se reconoce el apoyo de los proyectos de investigación en regeneración y reutilización de agua financiados por agencias nacionales e internacionales.

Referencias

- Berbel J, Mesa-Pérez E, Simón P (2023). Challenges for circular economy under the EU 2020/741 wastewater reuse regulation. *Global Challenges* 7(7):2200232.
- Delre A, ten Hoeve M, Scheutz C (2019). Site-specific carbon footprints of Scandinavian wastewater treatment plants, using the life cycle assessment approach. *Journal of Cleaner Production* 211:1001-1014.
- Dickin S, Bayoumi M, Giné R, Andersson K, Jiménez A (2020). Sustainable sanitation and gaps in global climate policy and financing. *Npc Clean Water* 3(1):1-7. doi:[10.1038/s41545-020-0072-8](https://doi.org/10.1038/s41545-020-0072-8)
- Jodar-Abellan A, López-Ortiz MI, Melgarejo-Moreno J (2019). Wastewater treatment and water reuse in Spain. current situation and perspectives. *Water* 11(8):1551. doi:[10.3390/W11081551](https://doi.org/10.3390/W11081551)
- Li X, Lee HS, Wang Z, Lee J (2021). State-of-the-art management technologies of dissolved methane in anaerobically-treated low-strength wastewaters: A review. *Water Research* 200:117269. doi:[10.1016/J.WATRES.2021.117269](https://doi.org/10.1016/J.WATRES.2021.117269)
- Metcalf y Eddie. (2018). Ingeniería de aguas residuales tratamiento, vertido y reutilización Volumen II Metcalf y Eddie: ISBN: 84-481-1606-2 Vol. II (2nd ed.)
- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) (2025). La reutilización de las aguas tratadas. Disponible en <https://www.miteco.gob.es/>
- Mo W, Zhang Q (2012). Can municipal wastewater treatment systems be carbon neutral? *Journal of Environmental Management* 112:360-367. doi:[10.1016/J.JENVMAN.2012.08.014](https://doi.org/10.1016/J.JENVMAN.2012.08.014)
- Real Decreto 1085/2024, de 22 de octubre, por el que se aprueba el Reglamento de reutilización del agua y se modifican diversos reales decretos que regulan la gestión del agua.
- Real Decreto 1620/2007, de 7 de diciembre, por el que se establece el régimen jurídico de la reutilización de las aguas depuradas.
- Wang H, Yang Y, Keller AA, Li X, Feng S, Dong Y nan, Li F (2016). Comparative analysis of energy intensity and carbon emissions in wastewater treatment in USA, Germany, China and South Africa. *Applied Energy* 184:873-881. doi:[10.1016/J.APENERGY.2016.07.061](https://doi.org/10.1016/J.APENERGY.2016.07.061)