

LIFE ZERO WASTE WATER: validando una solución innovadora y con balance energético positivo en la depuración de las aguas residuales de poblaciones menores de 50.000 h.e.

LIFE ZERO WASTE WATER: Validating an innovative solution with a positive energy balance in wastewater treatment for populations of less than 50,000 p.e.

José Antonio Moraleda Mesa. Responsable en el Área de Fomento de la Innovación - Subdirección de I+D+i de Canal de Isabel II / Director, Innovation Promotion Department – Sub-directorate R&D&i, Canal de Isabel II

Lydia Sáez García. Jefa del Área de Fomento de la Innovación - Subdirección de I+D+i de Canal de Isabel II / Head of Innovation Promotion Department – Sub-directorate R&D&i, Canal de Isabel II

Patricia Gómez Martínez. Titulada Superior en el Área de Fomento de la Innovación - Subdirección de I+D+i de Canal de Isabel II / Senior Researcher, Innovation Promotion Department – Sub-directorate R&D&i, Canal de Isabel II

Jaime Flores Cabeza. Subdirector de la Subdirección de I+D+i de Canal de Isabel II / Subdirector, Sub-directorate R&D&i, Canal de Isabel II

Jesús Sánchez Rubal. Director of Manzanares River Basin Wastewater Treatment Department at Canal de Isabel II

En el proyecto LIFE ZERO WASTE WATER se propone un cambio de paradigma en la depuración de aguas residuales, con el objetivo de validar una solución disruptiva, rentable y con balance energético positivo para el tratamiento de aguas residuales en poblaciones de menos de 50.000 habitantes equivalentes (h.e.). Para lograrlo, se ha construido una planta demostrativa que se basa fundamentalmente en procesos anaeróbicos de membrana, donde se produce biogás, un módulo de nitrificación parcial-Anammox y un módulo de recuperación de fósforo por adsorción. Adicionalmente, para maximizar la producción de biogás, el sistema cuenta con un punto de mezcla de la Fracción Orgánica de los Residuos Sólidos Urbanos (FORSU) y el Agua Residual Urbana (ARU) aguas arriba del módulo anaeróbico.

The LIFE ZERO WASTE WATER project proposes a paradigm shift in wastewater treatment, with the objective of validating a disruptive, cost-effective and energy efficient solution for wastewater treatment in populations of less than 50,000 population equivalent (p.e.). To achieve this, a demonstration plant has been built based mainly on anaerobic membrane processes, where biogas is produced. The plant features a partial nitrification-Anammox module and a phosphorus recovery module by adsorption. In addition, to maximize biogas production, the system has a mixing point for the Organic Fraction of Municipal Solid Waste (OFMSW) and Urban Wastewater (UWW) upstream of the anaerobic module.

Palabras clave

Ahorro energético; Bacterias Anammox; Biogás; Depuración; Economía circular; FORSU; Nitrificación parcial; Tratamientos anaeróbicos.

Keywords:

Energy saving; Anammox bacteria; Biogas; Purification; Circular economy; OFMSW; Partial nitrification; Anaerobic treatment.

INTRODUCCIÓN

En la Unión Europea, más de 71.000 Estaciones de Depuración de Aguas Residuales (EDAR) tratan anualmente 40.000 millones de metros cúbicos de agua, consumiendo 24.747 GWh y generando 13 millones de toneladas de fangos. Además, solo el 2,5% del agua tratada se reutiliza. Todo ello deja patente la necesidad de sistemas de depuración más eficientes y sostenibles que promuevan la economía circular y reduzcan el impacto ambiental.

La mayoría de las EDAR emplean el sistema de fangos activos, que consume 0,5 kWh/m³ de agua tratada y emite aproximadamente 0,15 kg CO₂/m³. En las EDAR europeas de gran tamaño, normalmente en las de más de 100.000 habitantes equivalentes, se suelen instalar digestores anaeróbicos en la línea de fangos, en los que se genera biogás para autoabastecimiento. Sin embargo, en las de menor tamaño, aquellas de menos de 50.000, la implementación de digestores anaeróbicos en línea de fangos no suele ser rentable y alrededor del 50% de ellas, no elimina nitrógeno adecuadamente, aumentando el riesgo de eutrofización de las aguas receptoras.

Por otro lado, la Directiva Marco de Residuos y la Ley 7/2022 exigen la recogida separada de la FORSU, prohibiendo su vertido e incineración. En 2020, la UE produjo 96 millones de toneladas de FORSU. La gestión inadecuada de estos residuos produce metano, un potente gas de efecto invernadero, resaltando la necesidad de intentar valorizar estos biorresiduos y evitar su disposición en vertederos.

PROYECTO LIFE ZERO WASTE WATER (LIFE19ENV/ES/000631)

En respuesta a las problemáticas expuestas en el apartado anterior, se ha conformado un consorcio de seis entidades europeas (Canal de Isabel II, Aqualia, las universidades de Santiago de Compostela y Valencia, la compañía portuguesa Simbiente y la austriaca Vienna Water Monitoring Systems) para acometer el proyecto LIFE ZERO WASTE WATER (LIFE19ENV/ES/000631).

Este proyecto propone un cambio de paradigma en la gestión del ARU y la FORSU. Su principal objetivo es validar una solución disruptiva, rentable y con balance energético positivo para el tratamiento de aguas residuales en poblaciones de menos de 50.000 h.e. Este tratamiento incluye procesos anaeróbicos y la adición de FORSU a la gestión del agua residual, valorizándolos mediante la obtención de biogás.

Entre las diferentes ventajas que propone la solución destacan: la mejora del balance energético, la producción de energía, la reducción de las emisiones de CO₂, la disminución de la producción de biosólidos y el aumento de la reutilización del agua tratada.

INTRODUCTION

Over 71,000 Wastewater Treatment Plants (WWTPs) treat 40,000 million cubic metres of water per annum in the EU, consuming 24,747 GWh and generating 13 million tonnes of sludge. Moreover, only 2.5% of the treated water is reused. All this highlights the need for more efficient and sustainable wastewater treatment systems that promote the circular economy and reduce environmental impact.

Most WWTPs implement the activated sludge system, which consumes 0.5 kWh/m³ of treated water and emits approximately 0.15 kg of CO₂/m³. In large European WWTPs, typically those with capacities of over 100,000 population equivalent, anaerobic digesters are normally installed in the sludge line, where biogas is generated for self-consumption. However, in smaller plants, of less than 50,000 p.e., implementing anaerobic digesters in the sludge line is generally not cost-effective and, therefore, around 50% of these facilities fail to remove nitrogen adequately, thus increasing the risk of eutrophication in the receiving waters.

The Waste Framework Directive and Spanish Act 7/2022 require separate collection of OFMSW, prohibiting the landfilling and incineration thereof. In 2020, the EU produced 96 million tonnes of OFMSW. Inadequate management of this waste produces methane, a potent greenhouse gas, highlighting the need to strive to recover this biowaste and prevent it from being landfilled.

LIFE ZERO WASTE WATER PROJECT (LIFE19ENV/ES/000631)

In response to the problems described in the previous section, a consortium of six European entities (Canal de Isabel II, Aqualia, the universities of Santiago de Compostela and Valencia, Portuguese company Simbiente and Austrian company Vienna Water Monitoring Systems) has been created to undertake the LIFE ZERO WASTE WATER project (LIFE19ENV/ES/000631).

This project proposes a paradigm shift in UWW and OFMSW management. The main goal is to validate a disruptive, cost-effective and energy-positive solution for wastewater treatment for populations of less than 50,000 p.e. The treatment includes anaerobic processes and combines the management OFMSW and wastewater for recovery in the form of biogas.

The benefits of the proposed solution include: improved energy balance, energy production, lower CO₂ emissions, a reduction in biosolids production and increased reuse of treated water.

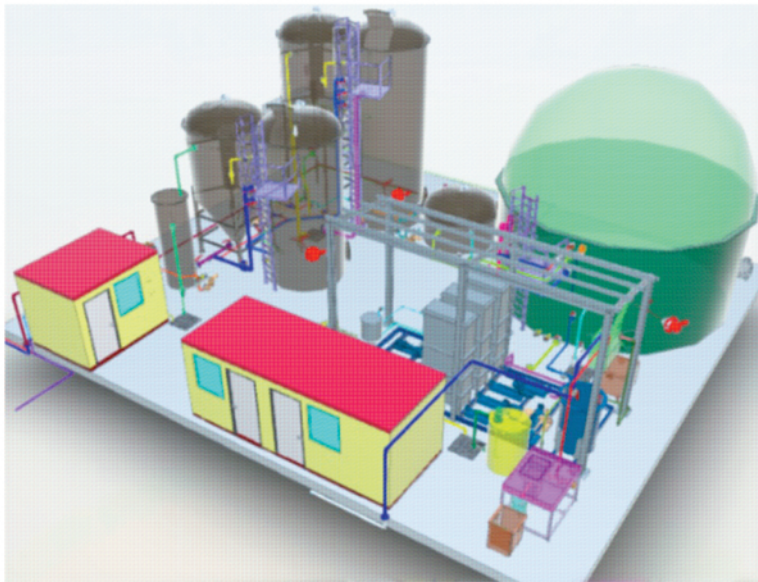


FIGURA 1. ESQUEMA TRIDIMENSIONAL DE LA PLANTA DEMOSTRATIVA EN LA EDAR DEL BOBAR (ALMERÍA)

FIGURE 1. 3D SCHEMATIC DIAGRAM OF DEMONSTRATION PLANT AT BOBAR WWTP (ALMERIA)

MATERIAL Y MÉTODOS

Para llevar a cabo esta validación el proyecto cuenta con una planta demostrativa en la EDAR del Bobar (Almería), que se ha diseñado e implementado para ser capaz de tratar unos 50 m³ diarios de agua residual, que corresponde a unos 300 h.e., mediante un nuevo tren de tratamiento para el tratamiento del agua residual que consta de las siguientes tecnologías:

- Biorreactor anaeróbico de membrana (AnMBR).
- Reactor de nitrificación parcial-Anammox (PN / AMX).
- Módulo de extracción y recuperación nutrientes.
- Sistema inteligente de monitoreo microbiológico del agua.

3.1. Biorreactor anaeróbico de membrana (AnMBR)

Los biorreactores anaeróbicos de membrana (AnMBR) representan una tecnología esencial en la transición hacia una economía circular en el tratamiento de aguas residuales urbanas, mejorando los tratamientos convencionales de fangos activos al producir efluentes de mayor calidad, generando a su vez energía en forma de biogás y reduciendo los lodos generados y las emisiones de CO₂ en un 75%. El biorreactor de la planta demostrativa tiene una capacidad de 100 m³ y en él se espera una valorización de casi el 90% de la materia orgánica en biogás. Por otro lado, las membranas de ultrafiltración permiten un funcionamiento continuo y estable del reactor.

A diferencia de los procesos convencionales que requieren más espacio y generan más fangos, los procesos anaerobios son más eficientes en términos de consumo energético, producción de fangos y necesidades de espacio.

MATERIAL AND METHODS

To carry out this validation, the project has a demonstration plant at the Bobar WWTP (Almeria), which is designed and implemented to be capable of treating 50 m³ of wastewater per day, corresponding to 300 p.e..

The plant implements a new wastewater treatment train comprising the following technologies:

- Anaerobic membrane bioreactor (AnMBR).
- Partial nitrification/Anammox reactor (PN / AMX).
- Nutrient extraction and recovery module.
- Intelligent system for microbiological monitoring of water.

3.1. Anaerobic membrane bioreactor (AnMBR)

Anaerobic membrane bioreactors (AnMBRs) constitute an essential technology in the transition to a circular economy in urban wastewater treatment. AnMBRs improve conventional activated sludge treatment by producing higher quality effluent, whilst generating energy in the form of biogas and reducing sludge generation and CO₂ emissions by 75%.

The demonstration plant bioreactor has a capacity of 100 m³ and is expected to recover almost 90% of the organic matter in the form of biogas. Moreover, the ultrafiltration membranes enable continuous, stable operation of the reactor.

Anaerobic processes are more efficient in terms of energy consumption, sludge production and space requirements than conventional processes, which require more space and generate more sludge.



FIGURA 2. BIORREACTOR ANAERÓBICO Y SET DE MEMBRANAS
 FIGURE 2. ANAEROBIC BIOREACTOR AND MEMBRANE SET

3.2. Reactor de Nitrificación Parcial-Anammox (PN/AMX)

El efluente del módulo de tratamiento anterior, libre de materia orgánica, pero cargado de nitrógeno y fósforo, entra en el reactor de nitrificación parcial-Anammox (PN/AMX) donde se eliminará el nitrógeno. Este módulo, compuesto por dos tanques en serie, primero realiza la nitrificación parcial y luego el proceso Anammox.

A diferencia de los sistemas de fangos activos convencionales que requieren mucho oxígeno y generan gases contaminantes, el PN/AMX reduce el consumo de oxígeno en un 25%, reduce significativamente las emisiones, disminuye la necesidad de materia orgánica, y minimiza la producción de fangos en un 40%.

3.2. Partial nitrification/Anammox reactor (PN/AMX)

The effluent from the preceding treatment module, free of organic matter but with high nitrogen and phosphorus loads, enters the partial nitrification-Anammox (PN/AMX) reactor, where the nitrogen is removed. This module, consisting of two tanks arranged in series, first performs partial nitrification and then the Anammox process.

Compared to conventional activated sludge systems, which require a lot of oxygen and generate pollutant gases, the PN/AMX reduces oxygen consumption by 25%, significantly reduces emissions, reduces the need for organic matter, and reduces sludge production by 40%.



FIGURA 3. REACTORES DE PN – AMX
 FIGURE 3. PN/AMX REACTORS

3.3. Módulo de extracción y recuperación de nutrientes

El efluente del módulo de tratamiento anterior, libre de materia orgánica y nitrógeno, pero cargado de fósforo, pasa al siguiente módulo de extracción y recuperación de fósforo por adsorción. Este consta de 3 columnas en las que se están probando diferentes materiales de adsorción, con el objetivo de compararlos y ver cuál de dichos materiales presenta mejores rendimientos de captación o adsorción de fósforo.

El objetivo de captar el fósforo excedente con respecto a los límites de vertido fijados por la legislación reside en la posibilidad que hay de valorizarlos en forma de fertilizantes para la agricultura.

3.4. Sistema inteligente de monitoreo microbiológico del agua

La planta demostrativa cuenta también con un sistema inteligente de monitoreo microbiológico del agua, ColiMinder "John", para una gestión más eficiente.

Normalmente, las muestras que se toman en las EDAR se tienen que llevar a un laboratorio para ser analizadas. El hecho de contar con un sistema capaz de medir las características microbiológicas del agua residual en continuo en diferentes partes del proceso hace que la gestión de la operación en los diferentes procesos de tratamiento sea más eficiente, reduciendo los tiempos de reacción ante cualquier imprevisto.

3.5. Reutilización del agua residual tratada en función de su calidad

La independencia de los módulos de tratamiento permite reutilizar el agua efluente según la calidad requerida. El efluente del biorreactor anaeróbico de membranas, cargado de nitrógeno y fósforo, puede reutilizarse en agricultura en zonas no sensibles a estos compuestos.

3.3. Nutrient extraction and recovery module

The effluent from the preceding treatment module, now free of organic matter and nitrogen, but still with a high phosphorus load, is sent to the next module for phosphorus extraction and recovery by adsorption. The module consists of 3 columns in which different adsorption materials are being tested to see which of them has the best performance in terms of phosphorus capture or adsorption.

The objective of capturing the phosphorus in excess of the discharge limits set out in legislation brings the added benefit of recovering this phosphorus in the form of fertilisers for agriculture.

3.4. Intelligent system for microbiological monitoring of water

The demonstration plant is also equipped with the intelligent ColiMinder "John" system for microbiological monitoring of the water, which enables more efficient management.

Samples taken at WWTPs normally have to be taken to a laboratory for analysis. Having a system capable of measuring the microbiological characteristics of the wastewater continuously at different stages of the process makes operational management of the different treatment processes more efficient and reduces response times in the event of unforeseen incidents.

3.5. Reuse of treated wastewater in accordance with quality

The fact that the treatment modules operate independently of each other enables the effluent water to be reused in accordance with the quality required. The effluent from the anaerobic membrane bioreactor, which has a high nitrogen and phosphorus load, can be reused in agriculture in



FIGURA 4. COLUMNAS CON DIFERENTES MATERIALES ADSORBENTES PARA LA CAPTACIÓN DE FÓSFORO
FIGURE 4. COLUMNS WITH DIFFERENT ADSORPTION MATERIALS FOR PHOSPHORUS CAPTURE

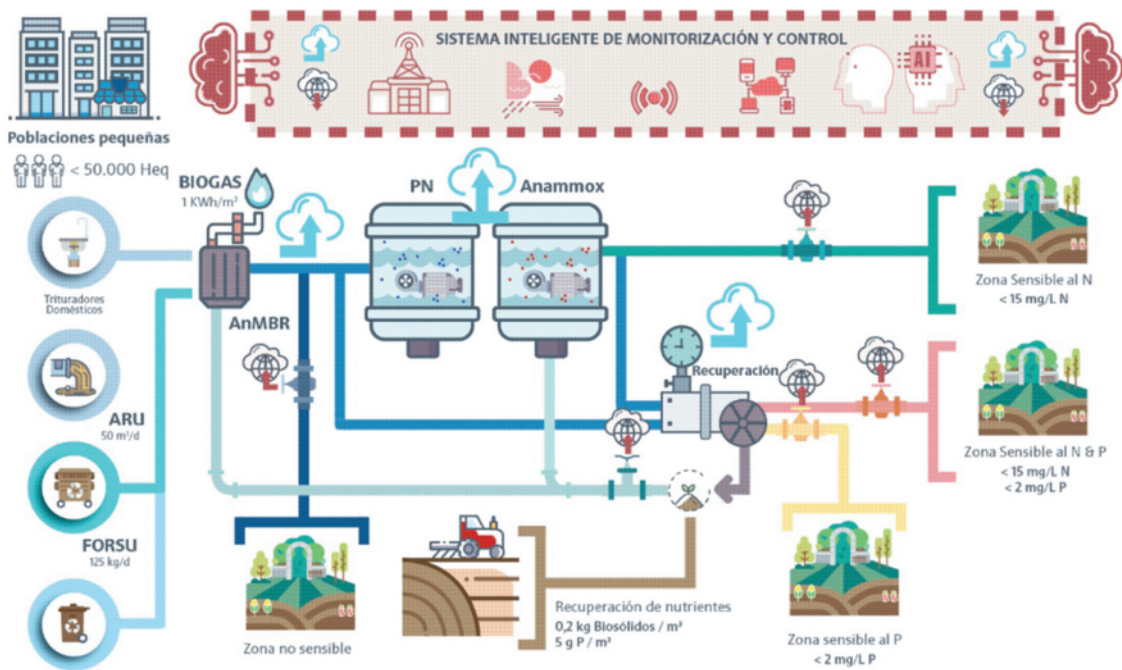


FIGURA 5. REUTILIZACIÓN DEL AGUA RESIDUAL TRATADA EN FUNCIÓN DE LA CALIDAD REQUERIDA
 FIGURE 5. REUSE OF THE TREATED WASTEWATER IN ACCORDANCE WITH QUALITY

Pasándolo por el módulo de recuperación de fósforo, el agua es reutilizable en agricultura en zonas no sensibles al nitrógeno y el fósforo recuperado puede usarse como fertilizante. Y usando el módulo PN-AMX, el efluente, ahora adecuado para zonas sensibles al nitrógeno, también podría reutilizarse. Por tanto, queda patente la versatilidad que presenta la solución en este ámbito.

3.6. Gestión conjunta del ARU y la FORSU

El proyecto apoya el Pacto Verde de la UE para lograr la neutralidad de carbono en 2050, promoviendo una economía eficiente en recursos y baja en emisiones, especialmente en zonas con estrés hídrico. También facilita la aplicación de la Directiva Marco de Residuos y el cumplimiento de los objetivos de reducción de vertidos y aumento del reciclaje. Para ello, ofrece una alternativa sostenible a los métodos convencionales de depuración para poblaciones menores de 50.000 h.e., integrando en la cabecera de la planta un sistema de triturado y mezcla para la gestión de ARU y FORSU, mejorando la eficiencia, aumentando la producción de biogás en el biorreactor anaeróbico de membranas y dando una salida más sostenible a la FORSU.

areas not sensitive to these compounds.

Subsequent to undergoing treatment in the phosphorus recovery module, the water can be reused in agriculture in non-nitrogen sensitive areas and the recovered phosphorus can be used as fertiliser. And after treatment in the PN-AMX module, the effluent is also suitable for reuse in nitrogen-sensitive areas. All this patently illustrates the versatility of the solution in this field.

3.6. Combined UWW and OFMSW management

The project is aligned with EU Green Deal, which seeks to achieve carbon neutrality by 2050 and promote a resource-efficient, low-emissions economy, especially in water-stressed areas. It also facilitates compliance with the Waste Framework Directive and the achievement of landfill reduction and recycling targets. To this end, LIFE ZERO WASTE WATER offers a sustainable alternative to conventional treatment methods for populations of less than 50,000 p.e. and features a shredding and mixing system at the head of the plant for combined UWW and OFMSW management, thus improving efficiency, increasing biogas production in the anaerobic membrane bioreactor and providing a more sustainable outlet for OFMSW.

RESULTADOS ESPERADOS

La solución propuesta se concibe como una biofactoría diseñada para recuperar los recursos potencialmente aprovechables en los procesos de depuración. Valoriza la materia orgánica en biogás, recupera nutrientes para generar fertilizantes, fomenta el uso de agua regenerada y produce compost, promoviendo la sostenibilidad y la economía circular.

Los resultados esperados en la planta demostrativa son los siguientes:

- Ahorro energético: Se espera una reducción del consumo de oxígeno en los procesos de depuración del agua y se le va a dar una gestión conjunta a la FORSU y el ARU.
- Producción de biogás: Se espera un balance energético positivo de 1.0 kWh/m³, comparado con 0.5-0.7 kWh/m³ de sistemas convencionales.
- Reducción de la huella de carbono: Se esperan reducciones de hasta un 150% en emisiones de CO₂ en comparación con sistemas de fangos activos.
- Menor generación de fangos: Se esperan reducciones de alrededor del 40-50% en comparación con sistemas de fangos activos.
- Recuperación de nutrientes: Se pretende recuperar el fósforo para la generación de fertilizantes útiles para la agricultura.

CONCLUSIONES

LIFE ZERO WASTE WATER promueve un enfoque sostenible en el tratamiento de aguas residuales, mejorando la eficiencia energética, reduciendo la huella de carbono y recuperando nutrientes esenciales, transformando así las depuradoras en instalaciones de recuperación de recursos en lugar de instalaciones generadoras de residuos.

El proyecto promueve la transformación de las estaciones depuradoras en biofactorías sostenibles, que estén alineadas con los objetivos de economía circular de la Unión Europea.

RECONOCIMIENTOS

LIFE ZERO WASTE WATER es un proyecto cofinanciado por la Comisión Europea (LIFE19 ENV/000631) mediante el instrumento financiero de Medio Ambiente y Acción por el Clima (LIFE).

Bibliografía

[1] Arias, A., Salim, I., Pedrouso, A., Morales, N., Mosquera-Corral, A., Vazquez-Padin, J.R., Rogalla, F., Feijoo, G. and Moreira, M.T. (2018). Bottom-up approach in the assessment of environmental impacts and costs of an innovative anammox-based process for nitrogen removal. *Journal of Environmental Management*, 225:112-119.

EXPECTED RESULTS

The proposed solution is conceived as a biofactory designed to recover potentially usable resources in wastewater treatment processes. It valorises organic matter in the form of biogas, recovers nutrients to generate fertilisers, promotes the use of reclaimed water and produces compost, thereby promoting sustainability and the circular economy.

The results expected from the demonstration plant are as follows:

- Energy savings: Oxygen consumption is expected to be reduced in the water treatment processes and OFMSW and UWW will be managed together.
- Biogas production: A positive energy balance of 1.0 kWh/m³ is expected, compared to 0.5-0.7 kWh/m³ for conventional systems.
- Reduction in carbon footprint: Reductions of up to 150% in CO₂ emissions are expected compared to activated sludge systems.
- Lower sludge generation: Reductions of around 40%-50% are expected compared to activated sludge systems.
- Nutrient recovery: The aim is to recover phosphorus for the generation of fertilisers for use in agriculture.

CONCLUSIONS

LIFE ZERO WASTE WATER promotes a sustainable approach to wastewater treatment, improving energy efficiency, reducing carbon footprint and recovering essential nutrients, thus transforming wastewater treatment plants into resource recovery facilities rather than waste generating facilities.

The project promotes the transformation of wastewater treatment plants into sustainable biofactories, in line with the circular economy objectives of the European Union.

ACKNOWLEDGMENTS

LIFE ZERO WASTE WATER is a project co-funded by the European Commission (LIFE19 ENV/000631) through the financial instrument for Environment and Climate Action (LIFE).

Bibliography

[1] Arias, A., Salim, I., Pedrouso, A., Morales, N., Mosquera-Corral, A., Vazquez-Padin, J.R., Rogalla, F., Feijoo, G. and Moreira, M.T. (2018). Bottom-up approach in the assessment of environmental impacts and costs of an innovative anammox-based process for nitrogen removal. *Journal of Environmental Management*, 225:112-119.

[2] Durán, F., Robles, A., Giménez, J.B., Ferrer, J., Ribes, J., Serralta, J. (2020). Modeling the anaerobic

[2] Durán, F., Robles, A., Giménez, J.B., Ferrer, J., Ribes, J., Serralta, J. (2020). Modeling the anaerobic treatment of sulfate-rich urban wastewater: Application to AnMBR technology. *Water Res*, 11133, 10.1016/j.watres.2020.116133

[3] Jiménez- Benítez, A., Ferrer, Greses, S., Ruiz-Martínez, A., Fatone, F., Eusebi, A.L., Mondéjar, N., Ferrer, J., Seco, A. (2020). AnMBR, reclaimed water and fertigation: Two case studies in Italy and Spain to assess economic and technological feasibility and CO₂ emissions within the EU Innovation Deal initiative. *J. Clean. Prod.*, 270, Article 122398, 10.1016/j.jclepro.2020.122398

[4] Moñino, P., Aguado, D., Barat, R., Jiménez, E., Giménez, J.B., Seco, A., Ferrer, J. (2017). A new strategy to maximize organic matter valorization in municipalities: Combination of urban wastewater with kitchen food waste and its treatment with AnMBR technology. *Waste Manag*, 62 (2017), pp. 274-289, 10.1016/j.wasman.2017.02.006

[5] Morales, N., Val del Río, A., Vázquez-Padín, J.R., Méndez, R., Mosquera-Corral, A., Campos, J.L. (2015). Integration of the Anammox process to the rejection water and main stream lines of WWTPs, *Chemosphere* 140:99-105.

[6] Pedrouso, A., Val del Río, A., Morales, N., Vazquez-Padín, J. R., Campos, J. L., & Mosquera-Corral, A. (2021). Mainstream anammox reactor performance treating municipal wastewater and batch study of temperature, pH and organic matter concentration cross-effects. *Process Safety and Environmental Protection*, 145, 195-202. doi:10.1016/j.psep.2020.07.052

[7] Pedrouso A, Vázquez-Padín JR, Crutchik D, Campos JL. (2021). Application of Anammox-Based Processes in Urban WWTPs: Are We on the Right Track? *Processes*. 2021; 9(8):1334.

[8] Robles, Á., Aguado, D., Barat, R., Borrás, L., Bouzas, A., Giménez, J.B., Martí, N., Ribes, J., Ruano, M.V., Serralta, J., Ferrer, J., Seco, A. (2020). New frontiers from removal to recycling of nitrogen and phosphorus from wastewater in the Circular Economy. *Bioresour. Technol.*, 10.1016/j.biortech.2019.122673.

[9] Robles, Á., Durán, F., Bautista, J., Jiménez, E., Ribes, J., Serralta, J., Seco, A., Ferrer, J., Rogalla, F. (2020). Anaerobic membrane bioreactors (AnMBR) treating urban wastewater in mild climates. *Bioresour. Technol.*, 314, Article 123763, 10.1016/j.biortech.2020.123763.

[10] Robles, Á., Jiménez-Benítez, A., Bautista Jiménez, J., Durán, F., Ribes, J., Serralta, J., Ferrer, J., Rogalla, F., Seco, A. (2022). A semi-industrial scale AnMBR for municipal wastewater treatment at ambient temperature: performance of the biological process. *Water Research*. 10.1016/j.watres.2022.118249

[11] Vázquez-Padín, J.R., Morales, N., Gutiérrez, R., Fernández, R., Rogalla, F., Barrio, J.P., Campos, J.L., Mosquera-Corral, A., Méndez, R. (2014). Implications of full-scale implementation of an anammox-based process as post-treatment of a municipal anaerobic sludge digester operated with co-digestion. *Water Sci Technol*. 2014;69(6):1151-8. doi: 10.2166/wst.2013.795. PMID: 24647178

treatment of sulfate-rich urban wastewater: Application to AnMBR technology. *Water Res*, 11133, 10.1016/j.watres.2020.116133

[3] Jiménez- Benítez, A., Ferrer, Greses, S., Ruiz-Martínez, A., Fatone, F., Eusebi, A.L., Mondéjar, N., Ferrer, J., Seco, A. (2020). AnMBR, reclaimed water and fertigation: Two case studies in Italy and Spain to assess economic and technological feasibility and CO₂ emissions within the EU Innovation Deal initiative. *J. Clean. Prod.*, 270, Article 122398, 10.1016/j.jclepro.2020.122398

[4] Moñino, P., Aguado, D., Barat, R., Jiménez, E., Giménez, J.B., Seco, A., Ferrer, J. (2017). A new strategy to maximize organic matter valorization in municipalities: Combination of urban wastewater with kitchen food waste and its treatment with AnMBR technology. *Waste Manag*, 62 (2017), pp. 274-289, 10.1016/j.wasman.2017.02.006

[5] Morales, N., Val del Río, A., Vázquez-Padín, J.R., Méndez, R., Mosquera-Corral, A., Campos, J.L. (2015). Integration of the Anammox process to the rejection water and main stream lines of WWTPs, *Chemosphere* 140:99-105.

[6] Pedrouso, A., Val del Río, A., Morales, N., Vazquez-Padín, J. R., Campos, J. L., & Mosquera-Corral, A. (2021). Mainstream anammox reactor performance treating municipal wastewater and batch study of temperature, pH and organic matter concentration cross-effects. *Process Safety and Environmental Protection*, 145, 195-202. doi:10.1016/j.psep.2020.07.052

[7] Pedrouso A, Vázquez-Padín JR, Crutchik D, Campos JL. (2021). Application of Anammox-Based Processes in Urban WWTPs: Are We on the Right Track? *Processes*. 2021; 9(8):1334.

[8] Robles, Á., Aguado, D., Barat, R., Borrás, L., Bouzas, A., Giménez, J.B., Martí, N., Ribes, J., Ruano, M.V., Serralta, J., Ferrer, J., Seco, A. (2020). New frontiers from removal to recycling of nitrogen and phosphorus from wastewater in the Circular Economy. *Bioresour. Technol.*, 10.1016/j.biortech.2019.122673.

[9] Robles, Á., Durán, F., Bautista, J., Jiménez, E., Ribes, J., Serralta, J., Seco, A., Ferrer, J., Rogalla, F. (2020). Anaerobic membrane bioreactors (AnMBR) treating urban wastewater in mild climates. *Bioresour. Technol.*, 314, Article 123763, 10.1016/j.biortech.2020.123763.

[10] Robles, Á., Jiménez-Benítez, A., Bautista Jiménez, J., Durán, F., Ribes, J., Serralta, J., Ferrer, J., Rogalla, F., Seco, A. (2022). A semi-industrial scale AnMBR for municipal wastewater treatment at ambient temperature: performance of the biological process. *Water Research*. 10.1016/j.watres.2022.118249

[11] Vázquez-Padín, J.R., Morales, N., Gutiérrez, R., Fernández, R., Rogalla, F., Barrio, J.P., Campos, J.L., Mosquera-Corral, A., Méndez, R. (2014). Implications of full-scale implementation of an anammox-based process as post-treatment of a municipal anaerobic sludge digester operated with co-digestion. *Water Sci Technol*. 2014;69(6):1151-8. doi: 10.2166/wst.2013.795. PMID: 24647178