Life-3E: Mejora de la eficiencia de la regeneración de aguas residuales aprovechando la energía del gradiente salino

La reutilización de aguas residuales depuradas se posiciona como una herramienta eficaz para aumentar los recursos hídricos disponibles, haciendo frente al reto de la escasez del agua y, contribuyendo, al mismo tiempo, a la reducción de la presión sobre los ecosistemas acuáticos. En este sentido, las estaciones depuradoras de aguas residuales (EDAR) costeras ofrecen un emplazamiento idóneo para la recuperación de energía azul, una fuente de energía emergente y renovable, capaz de proveer un suministro continuo *in situ*, que permite aliviar los costes energéticos asociados a los tratamientos de regeneración de agua. El proyecto europeo Life-3E: Medio Ambiente-Energía-Economía, presentado en este trabajo, tiene como objetivo demostrar un innovador proceso que permita la regeneración del agua procedente de EDAR integrando la producción de energía renovable a través de la recuperación de la energía contenida en la diferencia de salinidad entre el agua de mar y el efluente depurado. Esta energía se genera a través de la tecnología de electrodiálisis reversa (EDR) disminuyendo el consumo energético externo del tratamiento terciario, mejorando así la eficiencia en la gestión del recurso hídrico.

Palabras clave

EDAR, economía circular, energía azul, gradiente salino, regeneración de agua, reutilización de aguas residuales, electrodiálisis reversa.

LIFE-3E: IMPROVING THE EFFICIENCY OF WASTEWATER RECLAMATION BY FOSTERING SALINITY GRADIENT ENERGY

Wastewater reclamation shows as a valuable strategy to increase freshwater availability, facing the resource scarcity dilemma and contributing to reduce pressure over aquatic ecosystems. In this sense, coastal wastewater treatment plants (WWTP) offer a suitable location to recover blue energy, which constitutes an emerging and renewable source able to provide in-situ, continuous energy supply and hence reducing energy costs related to advanced treatments during water reclamation. The European project Life-3E: Environment-Energy-Economy, aims to demonstrate an innovative process to promote wastewater reclamation by integrating the recovery of the energy contained in the salinity gradient between seawater and treated effluent. This energy, generated by means of reverse electrodialysis (RED), will reduce the external energy demand for the tertiary treatment, therefore improving the efficiency in water management.

Keywords

WWTP, circular economy, blue energy, salinity gradient, wastewater reclamation, water reuse, reverse electrodialysis.

María Sainz Casariego
Directora de Gestión de Saneamiento de MARE

Leandro Morante Respuela
responsable de Área de Operación y Control del Medio de MARE

Javier Rioyo Rumayor
responsable de Área de Operación y Control del Medio de MARE

Gloria Pereira Colsa
técnica de Control del Medio de MARE

Elisa Mazo Bedia
técnica de Investigación de MARE

Tamara Sampedro Pelayo
investigadora de la Universidad de Cantabria

Lucía Gómez Coma
profesora ayudante doctora de la Universidad de Cantabria

Alfredo Ortiz Sainz
catedrático de la Universidad de Cantabria

Raquel Ibáñez Mendizabal
catedrática de la Universidad de Cantabria

Inmaculada Ortiz Uribe
catedrática de la Universidad de Cantabria

Germán Santos Bregel
gestor de Proyectos de Apria Systems

Javier Pinedo Alonso
responsable de Investigación de Apria Systems

Pedro Gómez Rodríguez
director general de Apria Systems

1. INTRODUCCIÓN

La demanda de agua mundial ha aumentado a un ritmo de aproximadamente un 1% anual desde 1980 debido al incremento poblacional, al desarrollo económico y a los cambios en los patrones de consumo entre otros factores (UNESCO, 2019), impulsando nuevas infraestructuras para la potabilización de agua (ETAP), regadío, uso industrial, etc., así como los consumos materiales y energéticos asociados.

Este constante crecimiento en la demanda, unido a una menor disponibilidad de agua dulce como consecuencia del cambio climático y la degradación de los recursos hídricos, hace que el acceso al agua potable tenga mayores limitaciones y plantee nuevos retos. Como ejemplo, se estima que, en la actualidad, solo en Europa, un 20% del territorio está afectado por estrés hídrico (EEA, 2021), acrecentándose este problema en verano, con más de un 50% de la población mediterránea afectada (EEA, 2016).

En este contexto, la implementación de estrategias de reutilización de efluentes de estaciones depuradoras de aguas residuales (EDAR) puede contribuir de manera significativa a la reducción de esta problemática y, al mismo tiempo, reducir el volumen de vertido y su impacto al medio receptor, creando nuevas rutas de gestión circular de los recursos hídricos (EC, 2016). En esta dirección se posiciona la Unión Europea, como se refleja en el nuevo Plan de acción para la economía circular del Pacto Verde Europeo (CE, 2020) o el Reglamento (UE) 2020/741 del Parlamento Europeo y del Consejo de 25 de mayo de 2020 relativo a los requisitos para la reutilización del agua.

Sin embargo, uno de los factores limitantes que podrían afectar a la regeneración de aguas residuales es el aumento de los costes energéticos asociados al tratamiento terciario, necesario para cumplir con los requisitos de calidad del agua para su reutilización. Por tanto, la búsqueda de tecnologías energéticamente eficientes (Melgarejo, *et al*., 2016) así como la promoción de la autosuficiencia energética en EDAR se hace necesaria para llevar a cabo estos procesos de una manera sostenible (Gómez-Coma, *et al*., 2020).

» Entre las energías renovables disponibles, la energía de gradiente salino (EGS) o energía azul, obtenida al poner en contacto dos corrientes de agua con distinta salinidad a través de electrodiálisis reversa (EDR), se presenta como una fuente de energía prometedora en EDAR costeras

Entre las energías renovables disponibles, la energía de gradiente salino (EGS) o energía azul, obtenida al poner en contacto dos corrientes de agua con distinta salinidad a través de electrodiálisis reversa (EDR), se presenta como una fuente de energía prometedora en EDAR costeras, capaz de proveer un suministro continuo *in situ*, que contribuya a la reducción de los costes energéticos asociados.

Estudios previos han demostrado el gran potencial de la tecnología EDR-EGS como fuente renovable (Post, 2009; Kempener y Neumann, 2014; Acuña-Mora y Rijck, 2015; Guler y Nijmeijer, 2018; Lanjewar, *et al*, 2020). Asimismo, ya se han llevado a cabo aplicaciones en planta piloto de generación de EGS mediante corrientes de agua de mar y agua de río (Vremaas, 2014), así como salmueras y agua de mar (Tedesco, *et al*, 2016).

Así, por primera vez, el proyecto Gradisal, financiado por la Sociedad para el Desarrollo Regional de Cantabria (Sodercan), finalizado en 2019 y en el que participaron la Universidad de Cantabria, la empresa pública Medio Ambiente, Agua, Residuos y Energía (MARE) y la pyme innovadora Apria Systems, abordó la evaluación técnica, ambiental y económica de una instalación para transformar mediante la tecnología EDR la energía contenida en el gradiente salino originado en la mezcla entre el agua de mar y el efluente de salida de EDAR.

El estudio de la viabilidad se llevó a cabo, a escala laboratorio, identificando las variables críticas de operación, como gradiente salino, tiempo de residencia hidráulico, temperatura, caracterización microbiológica de las corrientes de agua, etc., y de parámetros de operación tales como tipo de membranas, materiales electródicos, configuración de la celda de electrodiálisis, etc., en la eficiencia del proceso. Así mismo, se realizó una completa caracterización y selección de las EDAR con mayor potencial de aplicación de la EGS-EDR en la Comunidad Autónoma de Cantabria. Finalmente, se identificaron los principales elementos necesarios para la construcción de una planta piloto demostrativa (Gómez-Coma, *et al.*, 2018).

Teniendo en cuenta los resultados de Gradisal, el proyecto Life-3E: Medio Ambiente-Energía-Economía (Life19 ENV/ES/000143, https://life3e.eu/), concedido por el Programa

Life, tiene como objetivo incrementar el nivel de madurez tecnológica o TRL de la EGS-EDR, a través de la construcción, demostración y optimización de una instalación innovadora para la recuperación de aguas depuradas. El prototipo se alimentará con la energía recuperada del gradiente generado tras el contacto entre agua de mar y agua depurada (EGS), siendo la primera instalación de este tipo a nivel mundial, y operará en una EDAR ubicada en Cantabria, España, concretamente en la localidad costera de Comillas.

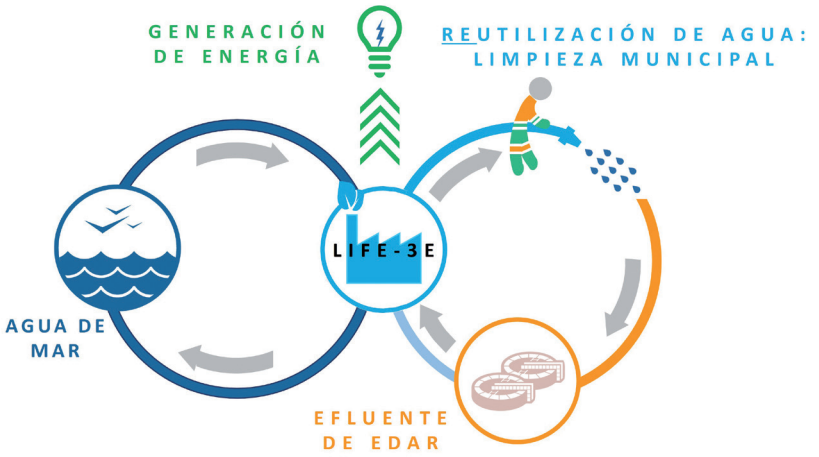
Los objetivos de este artículo son: presentar el principio de funcionamiento de la tecnología EGS-EDR para la reutilización de aguas y como fuente de generación de energía renovable; evaluar la aplicación de esta tecnología en EDAR costeras; describir la planta piloto a emplear en este estudio, así como los resultados esperados de esta investigación; y valorar la posible replicabilidad de la tecnología en otras EDAR.

2. EL ENFOQUE LIFE-3E: MEDIO AMBIENTE, ENERGÍA Y ECONOMÍA

El Programa Life, instrumento de la Unión Europea creado en 1992 dedicado al medio ambiente y la acción por el clima, tiene como objetivo principal la financiación de proyectos que contribuyan a la protección de la naturaleza y biodiversidad, la transición hacia una economía circular y de energías limpias, así como a estrategias de mitigación y adaptación al cambio climático.

En este marco, el proyecto Life-3E pretende demostrar un innovador proceso en un entorno operacional que permite la regeneración de aguas residuales tratadas, integrando la recuperación de EGS a través de tecnología EDR, como se muestra en la **Figura 1**. Esto implica la reducción de la presión sobre las masas de agua dulce y los ecosistemas costeros como consecuencia de la minimización de vertidos y la generación de nuevos recursos hídricos reutilizables.

FIGURA 1. El enfoque Life-3E apuesta por la circularidad del agua, la protección de los ecosistemas y la reducción del consumo energético externo mediante la producción de energía renovable.



Para su ejecución, LIFE-3E cuenta con un consorcio formado por la empresa pública cántabra MARE (coordinador del proyecto), la Universidad de Cantabria, a través del Departamento de Ingeniería Química y Biomolecular, la Universidad de Darmstadt (Alemania), mediante el Departamento de Gestión del Flujo de Materiales y Economía de Recursos, el Centro de Investigación del Medio Ambiente de Cantabria (Cima) y Apria Systems, empresa orientada al desarrollo e innovación tecnológica.

Life-3E diseñará, construirá y operará una planta piloto, a ubicar en la EDAR costera de Comillas (Cantabria), optimizando los parámetros de operación del proceso, de modo que se maximicen los beneficios ambientales y socioeconómicos del enfoque Life-3E y, evaluando a su vez la replicabilidad y transferibilidad de la tecnología a otras plantas y aplicaciones.

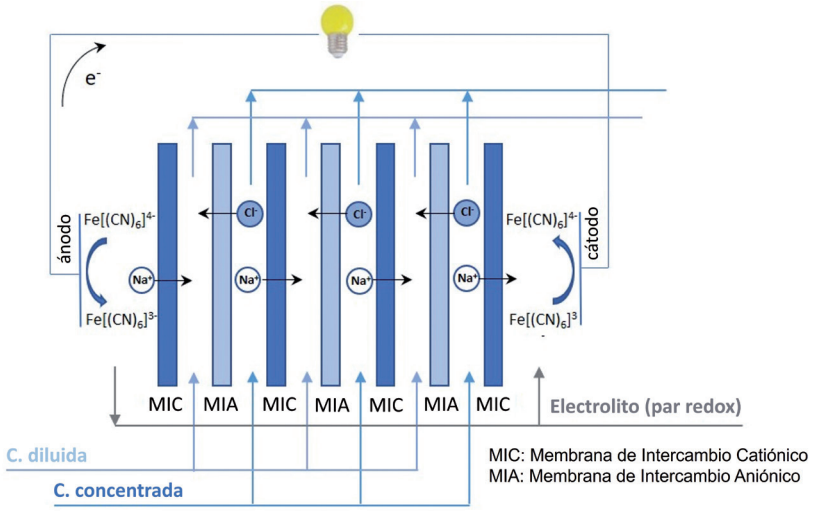
Del mismo modo se evaluará la sostenibilidad ambiental del proyecto de manera integrada, utilizando herramientas específicas de análisis del ciclo de vida (ACV).

2.1. TECNOLOGÍA EGS-EDR

La extracción de EGS por EDR, tecnología prometedora y de gran potencial en la transición energética hacia alternativas renovables (Tristán, *et al.*, 2020), consiste en extraer la energía generada de forma espontánea cuando dos corrientes de agua de distinta salinidad se ponen en contacto a través de membranas semipermeables.

El principio de funcionamiento de la EDR está basado en la electrodiálisis (ED), tecnología ampliamente empleada en purificación de aguas (Al-Amshawee, *et al.*, 2020), o concentración de salmueras (Morillo, *et al.*, 2014). La ED es un proceso de separación electroquímica (Sajtar y Bagley, 2009) que induce una corriente eléctrica sobre el agua a tratar, provocando la migración de iones a través de membranas de intercambio iónico entre un par de electrodos de cargas opuestas, creando así una corriente diluida y otra concentrada.

FIGURA 2. Diagrama de un módulo EDR.



Un sistema EDR empleado para la recuperación de energía de gradiente salino tiene la misma configuración que el sistema ED. Sin embargo, los compartimentos se alimentan de manera alterna con agua de baja salinidad y agua de mayor salinidad. Este gradiente salino resulta en una diferencia de potencial químico sobre cada membrana, lo que provoca el transporte de cationes y aniones de la solución más concentrada a la más diluida (Post, 2009). Un par redox que circula entre los electrodos permite convertir este flujo iónico en corriente eléctrica (Guler y Nijmeijer, 2018). La **Figura 2** ilustra, de manera esquemática, el funcionamiento de un módulo EDR.

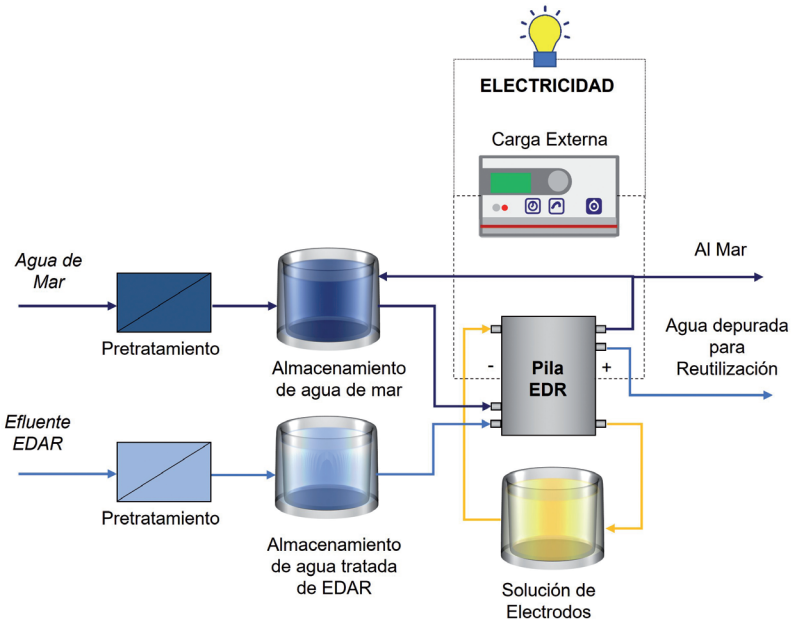
2.2. DISEÑO DE LA PLANTA PILOTO

La planta piloto demostrativa Life-3E se emplazará en la EDAR de Comillas (Cantabria), para validar la tecnología en un escenario real. Esta estación ha sido previamente seleccionada a través del estudio preliminar del proyecto Gradisal, donde, además de su localización geográfica, se tuvo en consideración la alta calidad del efluente según los parámetros analíticos estudiados debido a su tecnología innovadora de biofiltros y su tratamiento terciario (filtro de disco a 10 micras y tratamiento ultravioleta). La **Figura 3** muestra un esquema de la planta piloto a utilizar en este estudio.

El diseño desarrollado permite hacer acopio, en sendos tanques *buffer* o reservorios, de las corrientes principales, por un lado el agua de mar o corriente concentrada, en color azul oscuro, y por el otro el efluente de la EDAR de Comillas o corriente diluida, en color azul claro. Se prevé que ambas sean pretratadas dentro de la propia planta. De ahí, ambas corrientes son impulsadas al núcleo de tratamiento, que consiste en dos módulos de EDR de 20 m^2 de área efectiva cada uno, instalados en paralelo y conectados a una carga externa. En dichos módulos tiene lugar la recuperación energética a través del intercambio de iones entre las corrientes. Una vez lo abandonan, la corriente concentrada retorna a su reservorio correspondiente, operando en modo discontinuo, para tratar de aprovechar al máximo el recurso. Por su parte, la corriente diluida mantiene una calidad y composición que la hace apta para su reutilización.

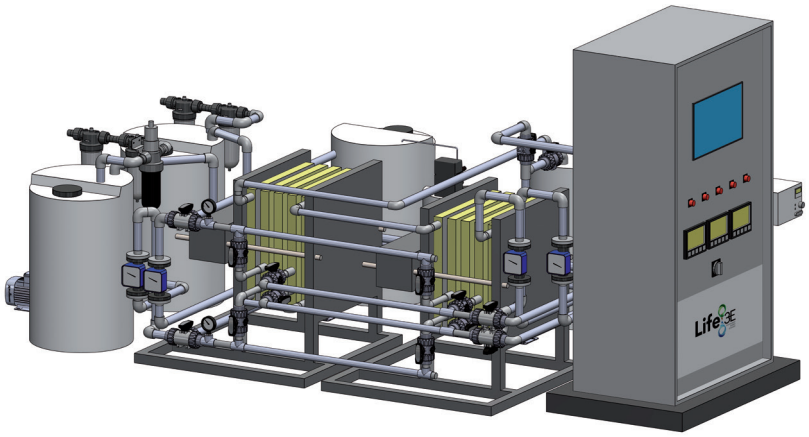
La planta piloto también incorpora una línea para la solución de los electrodos, representada en color amarillo en la **Figura 3**. Además, se ha incluido una línea de limpieza automática de los módulos incluyendo un sistema de dosificación de reacti-

FIGURA 3. Diagrama de la planta piloto, incluyendo los principales componentes para la generación de electricidad y regeneración.



vos químicos que permite, bien una limpieza estándar, o bien una limpieza en profundidad, según se requiera, para eliminar el ensuciamiento y garantizar el correcto funcionamiento del tratamiento. Todo el sistema está gobernado en control local por un armario eléctrico y de maniobra. En la **Figura 4** se presenta una representación en 3D de la planta piloto diseñada.

FIGURA 4. Diseño 3D de la planta piloto.



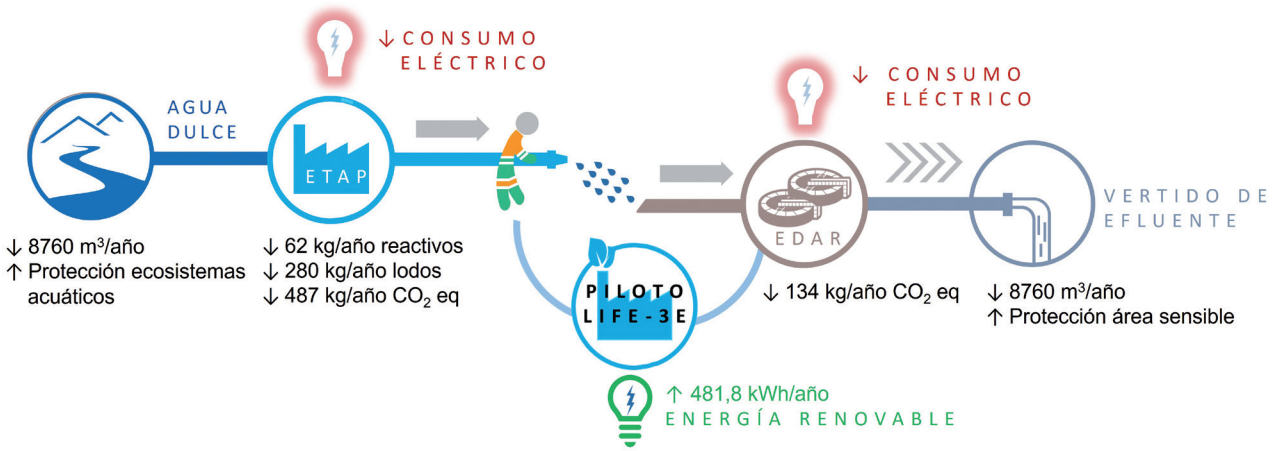
2.3. IMPLEMENTACIÓN DE LIFE-3E Y RESULTADOS ESPERADOS

La implementación de la planta piloto Life-3E en la EDAR de Comillas prevé la regeneración de hasta 1 m^3/h de efluente tratado y su reutilización para labores de limpieza de espacios públicos en el municipio de Comillas, que en la actualidad se realiza utilizando agua potable. Asimismo, este efluente tratado, alimentaría, junto con el agua de mar, el módulo EDR con el objeto de recuperar hasta 55 Wh/m^3 de agua tratada mediante EGS. En este sentido, se estima producir alrededor de 480 kWh/año de energía azul, lo que contribuiría a reducir el consumo energético externo asociado al tratamiento terciario hasta en un 25% (estimado en 220 Wh/m^3).

La regeneración de las aguas residuales tratadas a través de Life-3E para su reutilización en servicios de limpieza urbana reducirá, en consecuencia, la necesidad de producción de agua potable. La integración de la planta piloto supondría una reducción en la extracción de 8.760 m^3 de agua dulce al año, así como una disminución de los impactos ambientales derivados de las actividades de captación, tratamiento de aguas potables y transporte a destino final.

En cuanto a la estación de tratamiento de agua potable (ETAP) que abastece la red de agua de Comillas, el consumo medio de energía se ha estimado en 200 Wh/m^3 de agua potable producida. Dicha estimación se ha calculado considerando la intensidad energética promedio de las ETAP clásicas que operan en un rango de capacidades de tratamiento en el que encaja la ETAP objeto de estudio (Ferrer, *et al.*, 2017). Del mismo modo, atendiendo a los datos facilitados por el Gobierno de Cantabria, por cada metro cúbico de agua tratada, se requieren 7,1 g de reactivos químicos y se producen 0,032 kg de lodos. En consecuencia, la reutilización de 1 m^3/h de agua regenerada supondría una reducción del consumo de reactivos químicos de 62 kg/año, de 280 kg/año en la generación de lodos y un ahorro en el consumo energético de 1.752 kWh/año en la ETAP.

FIGURA 5. Principales impactos esperados tras la implementación de la planta piloto Life-3E (1 m^3/h).



En definitiva, la implementación del prototipo Life-3E (1 m^3/h) contribuirá a reducir el consumo de energía externa en la ETAP y EDAR locales. Atendiendo a las emisiones de gases de efecto invernadero provenientes de la generación de energía eléctrica en España reportadas por la Agencia Europea de Medio Ambiente (EEA, 2018), esto constituiría una reducción de hasta 620 kg de CO_2 equivalente al año.

La **Figura 5** resume los principales impactos ambientales esperados con la ejecución del proyecto.

Una vez demostrada la viabilidad técnica y económica del proceso en el entorno operacional de la EDAR de Comillas y atendiendo a los resultados obtenidos de madurez tecnológica, se estudiará la posibilidad de escalar la planta piloto aquí descrita y ampliar su capacidad hasta 10 m^3/h, así como su testeo en otras localizaciones, con vistas a su futura industrialización.

2.4. POTENCIAL TECNOLÓGICO Y REPLICABILIDAD DE LIFE-3E

En el marco del proyecto Life-3E y, con el fin de garantizar la replicabilidad de los resultados, se va a desarrollar un modelo matemático robusto, capaz de predecir el potencial de generación de energía de gradiente salino en cada EDAR objeto de estudio. Esta herramienta tendrá en cuenta las principales variables de operación, caudal y temperatura, así como salinidad de ambas corrientes y parámetros de operación: resistencia y permeabilidad de las membranas, área de membrana a instalar, porosidad de los espaciadores y grosor y número de pares de membrana para estimar de forma precisa la esperable potencia a generar en cada emplazamiento.

FIGURA 6. Localización de las EDAR incluidas en el estudio para la transferencia tecnológica de Life-3E. En azul, escenario 1: agua de mar-efluente; y en rojo, escenario 2: salmueras-efluente.

Además, durante el proyecto, tomando como base las 28.000 EDAR europeas recogidas en la base de datos de la Comisión Europea, se seleccionarán las de mayor potencial para la instalación de EGS-EDR según tres criterios relativos:

- Proximidad, en distancia y altura a una fuente de agua concentrada.
- Calidad del efluente.
- Tamaño de la planta.

En una primera etapa, se han identificado las plantas más prometedoras ubicadas en la zona mediterránea lo largo de la costa europea, tal y como se muestra en la **Figura 6**. En ella también se incluyen aquellas EDAR ubicadas en emplazamientos cercanos a desaladoras que pudiesen utilizar la diferencia de salinidad entre la salmuera y el efluente depurado en la EDAR. Destaca Italia con 84 depuradoras seleccionadas, seguida de Francia, España y Grecia con 22, 19 y 18 respectivamente.

De acuerdo a los datos en términos de capacidad de estas EDAR, se podrían reutilizar hasta 2,7 millones de m^3/día, únicamente en el área mediterránea, demostrando la tecnología propuesta a través de Life-3E como una fuente a considerar para su implementación en Europa.

3. CONCLUSIONES

La reutilización de aguas residuales depuradas se presenta como uno de los pilares fundamentales en las estrategias de desarrollo de políticas públicas hacia una economía circular para el uso sostenible de agua. En este contexto, el proyecto Life-3E tiene como objetivo demostrar un innovador proceso para fomentar la regeneración y reutilización de las aguas depuradas de EDAR costeras, integrando la recuperación energética del gradiente salino generado al poner en contacto el efluente tratado con el agua de mar. La energía producida, renovable y capaz de ser producida de manera continua, sin variaciones abruptas y con sumi-

» El desarrollo de un modelo matemático de simulación del potencial de generación de EGS en EDAR supondrá una herramienta eficaz para estudiar la replicabilidad de la tecnología en otros escenarios. Los resultados obtenidos hasta el momento sugieren que el concepto propuesto podría resultar en una solución tecnológica adecuada con gran potencial de implementación

nistro invariable puede contribuir a realizar el tratamiento terciario, aplicado para alcanzar la calidad de agua requerida para su posterior reutilización.

La implementación de la planta piloto en la EDAR de Comillas prevé, por un lado, la regeneración de hasta 1 m^3/h de efluente tratado y su reutilización para servicios de limpieza urbana y, por otro, la recuperación energética de hasta 55 Wh/m^3 de agua tratada, reduciendo hasta en un 25% el consumo energético externo asociado al tratamiento terciario. En el marco del proyecto se empleará la metodología del ACV para la cuantificación y evaluación de los impactos asociados a la implementación del enfoque Life-3E y los derivados de la reducción de las necesidades de producción de agua potable como consecuencia de la reutilización de aguas residuales regeneradas.

El desarrollo de un modelo matemático de simulación del potencial de generación de EGS en las futuras EDAR de interés supondrá una herramienta eficaz para estudiar la replicabilidad de la tecnología en otros escenarios. Los resultados obtenidos hasta el momento sugieren que el concepto propuesto podría resultar en una solución tecnológica adecuada con gran potencial de implementación.

4. AGRADECIMIENTOS

Los autores quisieran expresar su agradecimiento al Programa Life de la Unión Europea por cofinanciar este proyecto a través de la convocatoria 2019 (Life19 ENV/ES/000143), al beneficiario coordinador Medioambiente, Agua, Residuos y Energía (MARE) y los beneficiarios asociados: Apria Systems, Centro de Investigación de Medio Ambiente de Cantabria (Cima), Technische Universität Darmstadt y la Universidad de Cantabria; así como al personal técnico de la EDAR de Comillas, que están haciendo posible este estudio.

Bibliografía

[1] Acuña-Mora, D.; de Rijck, A, (2009). Blue energy: salinity gradient power in practice. Report No. GSDR 2015 Brief), Wageningen University and Research Centre.

[2] Al-Amshawee, S. *et al.* (2020). Electrodialysis desalination for water and wastewater: A review. Chemical Engineering Journal, vol.380, pág. 122.231.

[3] Comisión Europea (2020). Nuevo Plan de acción para la economía circular. Disponible en: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/es/ip_20_420 [último acceso: 13 diciembre 2021].

[4] European Commission (2016). EU-level instruments on water reuse, Luxembourg: Publications Office of the European Union

[5] European Environment Agency (2021). Water resources across Europe - confronting water stress: an updated assessment. Publications Office of the European Union.

[6] European Environment Agency (2016). Indicator Assessment - Use of freshwater resources. Disponible en: https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/use-of-freshwater-resources-2/assessment-1 [último acceso: 4 octubre 2021].

[7] European Environment Agency (2018). Greenhouse gas emission intensity of electricity generation in Europe. Disponible en: https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/overview-of-the-electricity-production-4/assessment [último acceso: 18 noviembre 2021].

[8] Ferrer, J. *et al.* (2017). Huella energética en el ciclo integral del agua en la Comunidad de Madrid. Fundación Canal. Canal Isabel II. ISBN: 978-84-945176-8-6.

[9] Gómez-Coma, L. *et al.* (2020). Blue energy for sustainable water reclamation in WWTPs. Journal of Water Process Engineering, vol. 33, pág. 101.020.

[10] Gómez-Coma, L. *et al.* (2018). Gradisal: aprovechamiento de la energía contenida en el gradiente salino. Retema, núm. 210, págs. 26-32.

[11] Guler, E.; Nijmeijer, K. (2018). Reverse electrodialysis for salinity gradient power generation: challenges and future perspectives. Journal of Membrane Science and Research, núm. 4(3), págs.108-110.

[12] Kempener, R.; Neumann, F., (2014). Salinity gradient energy: technology brief. International Renewable Energy Agency.

[13] Lanjewar, S. *et al.* (2020). Blue energy and its potential: the membrane based energy harvesting. Advances in Membrane Technologies: IntechOpen.

[14] Melgarejo, J.; Prats, D.; Molina, A.; Trapote, A. (2016). A case study of urban wastewater reclamation in Spain: comparison of water quality produced by using alternative processes and related costs. Journal of Water Reuse and Desalination, núm. 6(1), págs. 72-81.

[15] Morillo, J. *et al.* (2014). Comparative study of brine management technologies for desalination plants. Desalination, vol. 336, págs. 32-49.

[16] Post, J.W., (2009). Blue energy: electricity production from salinity gradients by reverse electrodialysis. Tesis Doctoral, Universidad de Wageningen. Disponible en: https://edepot.wur.nl/12605 [último acceso: 1 diciembre 2021].

[17] Programa Mundial de la UNESCO de Evaluación de los Recursos Hídricos, (2019). Informe Mundial de Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2019: No dejar a nadie atrás, París: UNESCO.

[18] Reglamento (UE) 2020/741 del Parlamento Europeo y del Consejo de 25 de mayo de 2020 relativo a los requisitos mínimos para la reutilización del agua. Diario Oficial de la Unión Europea núm. L 177, de 5 de julio de 2020, pág. 32.

[19] Sajtar, E.T.; Bagley, D.M. (2009). Electrodialysis reversal: Process and cost approximations for treating coal-bed methane waters. Desalination and Water Treatment, vol. 2, págs. 284-294.

[20] Tedesco, M. *et al.* (2016). Performance of the first reverse electrodialysis pilot plant for power production from saline waters and concentrated brines. Journal of Membrane Science, vol. 500, págs. 33-45.

[21] Tristán, C. *et al.* (2020). Life cycle assessment of salinity gradient energy recovery by reverse electrodialysis in a seawater reverse osmosis desalination plant. Sustainable Energy & Fuels, núm. 8, págs. 4.273-4.284.

[22] Vremaas, D.A. (2014). Energy generation from mixing salt water and fresh water: smart flow strategies for reverse electrodialysis. Tesis Doctoral, Universidad de Twente. Disponible en: https://research.utwente.nl/en/publications/energy-generation-from-mixing-salt-water-and-fresh-water-smart-fl [último acceso: 1 diciembre 2021].