

LIFE DREAMER – DEMOSTRACIÓN DE UN SISTEMA DE DESALACIÓN ALTAMENTE SOSTENIBLE

El proyecto LIFE DREAMER tiene como objetivo el desarrollo una solución de desalación por ósmosis inversa más eficiente y que permita la recuperación de recursos. Los resultados obtenidos en el marco del proyecto, liderado por ACCIONA, han demostrado un aumento en la conversión global del sistema, una reducción del volumen de los efluentes de lavado, así como la reducción del ensuciamiento biológico en las membranas de ósmosis inversa gracias a los avances introducidos en el pretratamiento.

El agua desalinizada se ha convertido en una valiosa alternativa de agua dulce cuya calidad la hace apta para uso en agricultura, industrial o de consumo humano. Entre las diferentes tecnologías disponibles para la desalación de agua, la ósmosis inversa (OI) es la tecnología más utilizada en instalaciones de desalación a gran escala en todo el mundo, debido a sus prestaciones.

A pesar de la necesidad y de los múltiples beneficios de implementar esta tipología de desalación para agua de mar, en la actualidad existe margen de mejora y los esfuerzos de I+D+i se centran principalmente en la reducción de la producción de salmuera, del consumo energético específico y del uso de productos químicos. El proyecto LIFE DREAMER, coordinado por el negocio de Agua de ACCIONA, además de perseguir estas reducciones, alinea el proceso de desalación con el concepto de Economía Circular, considerando el agua de mar como una fuente de recursos y contribuyendo al cumplimiento del Objetivo de Desarrollo Sostenible nº 6 – Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos.

La solución LIFE DREAMER

El objetivo del proyecto LIFE DREAMER es el desarrollo y demostración de un concepto de desalación altamente eficiente en el uso de recursos, logrando un aumento en la conversión del proceso de desalación por OI, un menor consumo de energía y de productos químicos, y la obtención de compuestos actualmente no valorizados presentes en el agua de mar.

Para cumplir con este objetivo, se ha diseñado una novedosa solución, integrada por los siguientes procesos:

- i) Un pretratamiento orientado a la reducción nutrientes disponibles que pretende disminuir el potencial de formación de biofouling en las membranas de ósmosis inversa, mediante un sistema de filtración granular con capacidad de adsorción de fósforo (P). Se reduce así el contenido de este nutriente, que puede además ser recuperado con fines agrícolas y se mejoran los parámetros de funcionamiento hidráulico de las membranas de ósmosis inversa a medio y largo plazo.
- ii) Un proceso de filtración-decantación para tratar las corrientes de agua de limpieza con alta carga en sólidos provenientes del pretratamiento. El tratamiento de estos efluentes, basado en un proceso de ultrafiltración-decantación, consigue concentrar el contenido sólido y recuperar el agua empleada para dichas limpiezas, reintroduciéndola en el sistema, con el objetivo de aumentar la conversión global del proceso de desalación.
- iii) Un proceso de oxidación avanzada (AOP) para la reducción del contenido de carbono orgánico de las corrientes de limpieza de la ósmosis inversa. Ciertos compuestos de naturaleza orgánica y/o inorgánica son capaces de atravesar los pretratamientos y acumularse en las membranas de ósmosis inversa, afectando

LIFE DREAMER – DEMONSTRATION OF A HIGHLY SUSTAINABLE DESALINATION SYSTEM

The LIFE DREAMER project aims to develop a more efficient reverse osmosis desalination solution that enable the recovery of resources. The results of the ACCIONA-led project show increased overall conversion rates, reduced cleaning effluent volume and lower biofouling in RO membranes, thanks to advances in pretreatment.

Desalinated water has become a valuable alternative to freshwater and its quality makes it suitable for agricultural and industrial use, as well as for human consumption. Due to its performance, reverse osmosis (RO) is the most widely-used desalination technology in large-scale desalination facilities worldwide.

Despite the need for RO and the multiple benefits of its implementation in seawater desalination, there is still room for improvement. R&D&i mainly focuses on reducing brine production, specific energy consumption and the use of chemical products. In addition to seeking these reductions, the LIFE DREAMER project, coordinated by the ACCIONA Water Business, aligns the desalination process with the Circular Economy. The project considers seawater to be a source of resources that can contribute to the achievement of Sustainable Development Goal 6, which seeks to Ensure availability and sustainable management of water and sanitation for all.

LIFE DREAMER solution

The objective of the LIFE DREAMER project is to develop and demonstrate a highly resource-efficient desalination concept that achieves an increase in the conversion rate of the RO desalination process, consumes less energy and chemicals, and enables the recovery of compounds currently not recovered from seawater.

To meet this objective, an innovative solution comprising the following processes has been designed:

- i) Pretreatment aimed at reducing nutrient content, thus reducing the potential for biofouling in reverse osmosis membranes. This is done by means of a granular filtration system with phosphorus (P) adsorption capacity. The system reduces the concentration of phosphorus, which can be recovered for agricultural purposes, and thereby improves the hydraulic operating parameters of reverse osmosis membranes in the medium and long term.
- ii) A filtration settlement process to treat cleaning water streams with high solids loads from pretreatment. The treatment of these effluents, based on an ultrafiltration-sedimentation process, concentrates the solid content and recovers the cleaning water, which is reinjected into the system with the aim of increasing the overall conversion rate of the desalination process.
- iii) An advanced oxidation process (AOP) for the reduction of the organic carbon content of reverse osmosis cleaning streams. Certain compounds of an organic and/or inorganic nature are capable of passing through pretreatment and accumulate on the RO membranes, affecting membrane behaviour. It is therefore necessary to carry out periodic chemical cleaning and the effluents from this process contain these compounds.

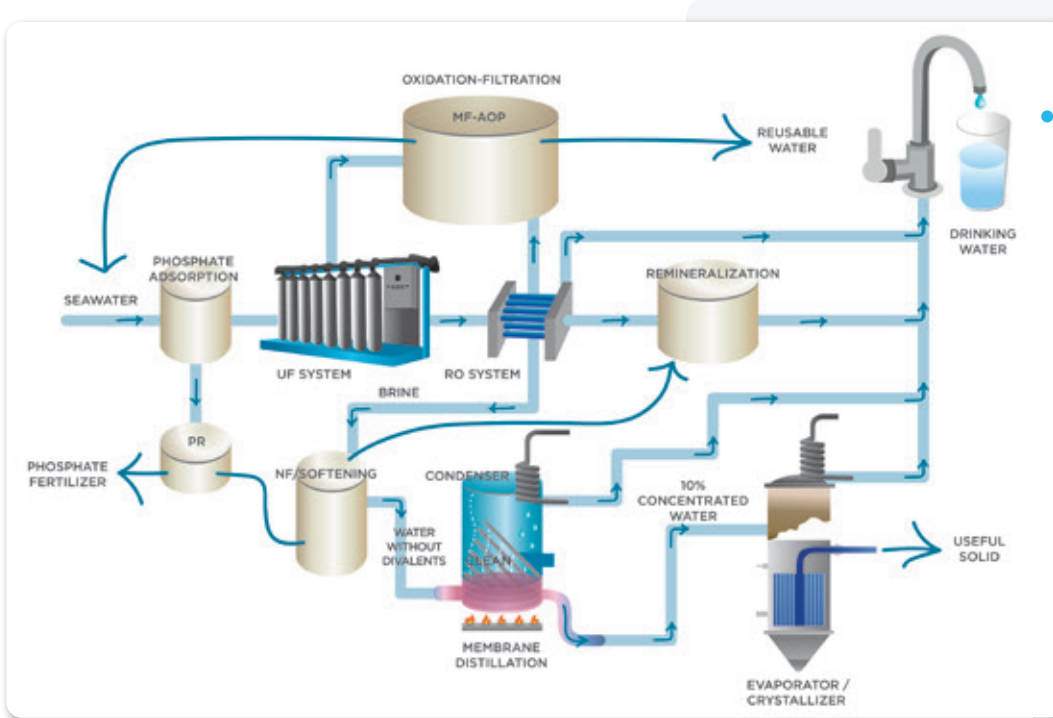


Figura 1. Esquema del sistema LIFE DREAMER | Figure 1. Schematic diagram of LIFE DREAMER system

iv) Brine concentration treatment, which aims to increase the conversion of the desalination process, decrease the brine volume and recover salts that can be used in the remineralisation stage. This system is based on two sub-processes: the first, a nanofiltration stage, reduces the concentration of divalent compounds, thus reducing scaling potential in the second sub-process, Membrane Distillation (MD). The MD process

su comportamiento. Es por ello necesario realizar lavados químicos periódicos cuyos efluentes contienen dichos compuestos.

iv) Un tratamiento de concentración de las salmueras, cuyo objetivo es aumentar la conversión del proceso de desalación, disminuir el volumen de salmueras y recuperar sales que se pueden usar la etapa de remineralización. Este sistema está basado en dos sub-procesos: el primero de ellos, una etapa de nanofiltración, reduce el contenido en compuestos divalentes para disminuir el potencial de incrustación del siguiente sub-proceso, que es una destilación por membranas (Membrane Distillation, MD), que concentra la salmuera y produce destilado, aumentando por lo tanto la producción de agua producto y reduciendo el volumen de salmuera generado.

concentrates the brine and produces distillate, thereby increasing product water recovery and reducing the volume of brine generated.

The project demonstration activities have been carried out in a highly instrumented and automated pre-industrial scale pilot plant. This pilot plant operates continuously (24/7) at the San Pedro del Pinatar II seawater desalination plant (SWDP) in Murcia, Spain, which belongs to the Mancomunidad de los Canales del Taibilla (MCT). The pilot plant was designed and built with a capacity of up to 10m³/h. It uses the same intake water as the SWDP, thus ensuring the representativeness of the results, and facilitating future scaling and transferability.

Las actividades de demostración del proyecto se han llevado a cabo en una planta piloto de escala pre-industrial, altamente instrumentada y automatizada, operando en continuo (24/7) en las instalaciones de la planta desalinizadora de agua de mar (IDAM) de San Pedro del Pinatar II (Murcia, España), propiedad de la Mancomunidad de los Canales del Taibilla (MCT). La planta de piloto se diseñó y construyó con una capacidad de hasta 10m³/h con la misma agua de entrada que la IDAM, asegurando la representatividad de los resultados, y facilitando su futuro escalado y transferencia.

Resultados

Los principales resultados obtenidos de la integración de los diferentes sistemas que compo-

Results

The main results obtained from the integration of the different systems of which the solution is composed and their global optimisation under real operating conditions over a period of more than two years are outlined below:



Figura 2. Equipo técnico del proyecto en las instalaciones de la planta desalinizadora de agua de mar (IDAM) de San Pedro del Pinatar II (Murcia, España), donde se ha desarrollado la demostración | Figure 2. Project technical team at the San Pedro del Pinatar II seawater desalination plant (SWDP) in Murcia, Spain, where the demonstration project was carried out

nen la solución y su optimización global bajo condiciones reales de funcionamiento durante un período de tiempo superior a dos años, se detallan a continuación:

- i) La eliminación promedio de P en el proceso de adsorción, partiendo de una concentración del agua de mar de entrada de 0,1 ppm, ha alcanzado el 70% durante el periodo de demostración. Los estudios cinéticos realizados han demostrado la disminución en la capacidad de crecimiento de microorganismos generadores de biopelícula al reducir el contenido en P del agua de mar. Esto ha conducido a una mejora en el rendimiento de las membranas de OI y una reducción del uso de productos químicos.
- ii) El sistema de filtración-decantación demostrado en el proyecto LIFE DREAMER es capaz de tratar el alto contenido en sólidos en suspensión de los efluentes generados en los contralavados del pre-tratamiento, permitiendo recuperar un 99% del agua empleada, concentrando en este mismo porcentaje el residuo sólido generado. La corriente de filtrado de este sistema es apta para ser recirculada al tren principal de tratamiento con el consiguiente aumento del volumen de agua producto.
- iii) El proceso de oxidación avanzada propuesto en el proyecto, que se basa en la reacción Foto-fenton y que utiliza peróxido de hidrógeno, hierro como catalizador y luz ultravioleta, consigue reducir hasta en un 87% la concentración de Carbono Orgánico Total (TOC) del efluente de las operaciones de cleaning in place (CIP) básicas de ósmosis inversa.
- iv) El tratamiento de la salmuera por nanofiltración ha permitido una elevada eliminación de los iones divalentes (65% en Ca^{2+} ; 85% en Mg^{2+} y 98% en SO_4^{2-}), dando lugar a una corriente rica en calcio y magnesio, que podría utilizarse para la remineralización posterior del agua producto. En cuanto a la destilación por membranas, se ha conseguido concentrar la salmuera hasta un máximo del 80%, empleando calor residual.

La combinación de las diferentes tecnologías planteadas en el proyecto LIFE DREAMER permite aumentar la conversión del proceso de desalación, reducir el consumo de productos químicos y energético, y la recuperación y valorización de recursos, generando un impacto positivo significativo en el medio ambiente.

Los sistemas descritos se pueden incluir en su conjunto en plantas desalinizadoras de nueva construcción en cualquier parte del mundo que dispongan de calor residual, y también es posible adoptar esta versátil solución de forma parcial en plantas ya existentes, con mayor o menor grado de remodelación en función de la tecnología considerada. De este modo, la aplicabilidad de la solución LIFE DREAMER es elevada, adaptándose a las necesidades y posibilidades de cada planta.

Impacto técnico y medioambiental

La integración de los diferentes procesos complementarios en el actual proceso de desalación de agua de mar por ósmosis inversa no sólo ha supuesto una innovación tecnológica en dicho ámbito, sino que también ha proporcionado importantes beneficios medioambientales:

- Recuperación de agua: La recuperación de agua del sistema de desalación propuesto se ha incrementado hasta en un 80% gracias al tratamiento de los efluentes de lavado y en mayor medida al tratamiento de salmuera.

- i) An average P removal rate of 70% has been achieved in the adsorption process during the demonstration period from an inlet seawater concentration of 0.1 ppm. Kinetic studies have shown a decrease in the growth capacity of biofilm-generating microorganisms as a result of reducing the P concentration in the seawater. This has led to an improvement in RO membrane performance and a reduction in the use of chemicals.
- ii) The filtration-sedimentation system demonstrated in the LIFE DREAMER project is capable of treating the high concentration of suspended solids in the effluents from pretreatment backwashing processes. The system enables 99% of the water used to be recovered, whilst also achieving 99% concentration of the solid residues generated in the process. The filtrate stream from this system is suitable for recirculation to the main treatment train, thus increasing the volume of product water.
- iii) The advanced oxidation process proposed in the project, which is based on the Photo-Fenton reaction, uses hydrogen peroxide, iron as a catalyst and ultraviolet light to achieve a reduction of up to 87% in the Total Organic Carbon (TOC) concentration of the effluent from basic reverse osmosis cleaning in place (CIP) operations.
- iv) Nanofiltration treatment of brine has enabled a high divalent ion removal rate (65% for Ca^{2+} ; 85% for Mg^{2+} and 98% for SO_4^{2-}), resulting in a calcium- and magnesium-rich stream, which can be used for subsequent remineralisation of the product water. Membrane distillation has made it possible to concentrate the brine to a maximum of 80%, using residual heat.

The combination of the different technologies proposed in the LIFE DREAMER project makes it possible to increase conversion rates in the desalination process, reduce the consumption of chemical products and energy, and recover valuable resources, thus generating a very positive environmental impact.

Newly-built desalination plants with residual heat, located anywhere in the world, can be fitted with the systems described as an integrated solution. This versatile solution can also be



Figura 3. Sistema de OI y pretratamiento de salmuera mediante nanofiltración.
Figure 3. RO system and NF brine pretreatment

- Reducción del volumen de salmuera y corrientes residuales generadas: Se ha reducido en un 99% en volumen de los efluentes de pretratamiento con alto contenido de sólidos totales en suspensión; se ha disminuido en un 87% del contenido total de carbono orgánico de los efluentes de limpieza química de ósmosis inversa; se ha reducido en un 60% en volumen de las descargas de salmuera de agua de mar.
- Reducción del consumo de productos químicos: El crecimiento de bacterias ha resultado inferior al reducir el contenido en fósforo en el agua de mar, y se ha observado una menor disminución de flujo a lo largo del tiempo en las membranas de ósmosis en ese escenario, lo que conlleva un menor consumo de productos químicos de limpieza y biocidas. La corriente rica en calcio y magnesio obtenida durante el ablandamiento de la salmuera podría emplearse para mineralizar parcialmente el agua del producto final, permitiendo un ahorro entre 8-10 mg / L de calcio y 20-25 mg / L de Mg. En conjunto, la reducción del consumo de químicos se estima en más de un 50%.
- Recuperación de productos valorizables: Se ha alcanzado una reducción de un 70% del fósforo presente en el agua, un nutriente vital para el desarrollo de bacterias causantes de biofouling en las membranas de ósmosis inversa. Además, el fósforo adsorbido se puede recuperar y utilizar como fertilizante agrícola.

Análisis del ciclo de vida y coste

Las actuaciones en el marco del proyecto han comprendido asimismo un análisis teórico del ciclo de vida y coste a gran escala (LCA y LCC, por sus siglas en inglés) y su comparativa con un proceso de desalación convencional por ósmosis inversa, permitiendo así cuantificar ambiental y económicamente ambos escenarios.

Así, con los resultados obtenidos durante la fase de demostración en planta piloto (flujos, rendimientos hídricos, consumo de químicos, etc.) se ha realizado un diseño de una planta a gran escala del proceso, definiéndose desde la obra civil hasta las condiciones de operación de la planta. Para ello, se ha partido de una planta de tratamiento de agua de mar convencional con una capacidad de 18.000 m³/h, basada en un pretratamiento basado en filtración granular seguido de un proceso de ósmosis inversa y la posterior remineralización del agua producto. Posteriormente se ha analizado la implementación de los sistemas propuestos en el proyecto LIFE DREAMER, que ha permitido que la producción de agua potable aumente hasta los 35.942 m³/h, un 80% más que en el caso de referencia.

Para cada caso, se ha analizado el potencial impacto ambiental a lo largo de toda su vida útil, incluyendo la construcción, los equipos



partially retrofitted in existing plants, with a greater or lesser degree of remodelling depending on the technology in question. Thus, the LIFE DREAMER solution has a high degree of applicability and can be adapted to the needs and possibilities of each plant.

Technical and environmental impact

The integration of the different complementary processes in the current reverse osmosis seawater desalination process not only represents a technological innovation in this field, but also affords significant environmental benefits:

- Water recovery: Water recovery from the proposed desalination system has been increased by up to 80-85% through membrane cleaning effluent treatment and, to a greater extent, brine treatment.
- Reduction in the volume of brine and waste streams generated: A 99% reduction in the volume of pretreatment effluent with a high total suspended solids concentration has been achieved, the total organic carbon content of reverse osmosis chemical cleaning effluent has been reduced by 87% and seawater brine discharges have been reduced by 60%.
- Reduction in the use of chemical products: Bacterial growth has been lower due to the reduction in the phosphorus concentration of the seawater, and a lower flux decrease over time has been observed in osmosis membranes in this scenario, leading to lower consumption of cleaning chemicals and biocides. The calcium- and magnesium-rich stream obtained during brine softening could be used to partially mineralise the final product water, enabling savings of 8-10 mg/L in calcium and 20-25 mg/L in Mg. The overall reduction in chemical consumption is estimated at over 50%.
- Recovery of valuable products: A 70% reduction of phosphorus in the water has been achieved. This nutrient is of vital importance in the development of biofouling bacteria in reverse osmosis membranes. Moreover, it is possible to recover the adsorbed phosphorus for potential use as an agricultural fertiliser.

Life-cycle assessment and life-cycle costing

Actions undertaken within the framework of the project include theoretical life-cycle assessment and life-cycle costing (LCA and LCC) and comparison of these indicators with a conventional reverse osmosis desalination process, thus enabling environmental and economic quantification of the two scenarios.

Using the results reference during the pilot plant demonstration stage (flows, water yields, chemical consumption, etc.), a large-scale plant for the process has been designed, with definitions ranging from the construction work right through to plant operating conditions. For this purpose, a conventional seawater treatment plant with a capacity of 18,000 m³/h, implementing pretreatment based on granular filtration followed by a reverse osmosis process and subsequent remineralisation of the product water, was used as a reference. Subsequently, the implementation of the systems proposed in the LIFE DREAMER project was analysed, with the result being an increase in drinking water production to 35,942 m³/h, 80% more than in the reference case.

The potential life-cycle environmental impact was analysed for each case, including the construction, equipment and operation

Sistema de filtración – decantación para tratar las corrientes de agua de limpieza con alta carga en sólidos | Filtration – settlement system to treat cleaning water streams with high solids load

y la operación de la planta, y se ha normalizado por m³ producido. Para las diferentes categorías ambientales analizadas (calentamiento global, reducción de la capa de ozono, eutrofización marina, etc.) se ha observado que en todas ellas la opción LIFE DREAMER presenta unos potenciales impactos ambientales en torno a un 15% inferiores que la opción convencional, demostrando así el incremento de sostenibilidad del proceso.

Impacto socioeconómico

Con el fin de disponer de una línea de base a partir de la cual obtener una clara comprensión del impacto socioeconómico de la solución desarrollada, el equipo de proyecto, liderado por el socio WE&B, ha llevado a cabo la identificación y monitorización de indicadores de “Contexto” y “Referencia” para España y Europa. También se ha llevado a cabo la identificación y registro de indicadores de seguimiento e impacto para el área local y regional donde se ha desarrollado el proyecto.

Asimismo, los stakeholders clave del proyecto, así como la comunidad interesada, han sido identificados y se han involucrado desde el comienzo del proyecto y de manera continua, mediante una serie de sesiones de participación, entre las que destacan jornadas de puertas abiertas, talleres, grupos focales y entrevistas. De este modo, se ha mantenido un diálogo bidireccional para presentar actuaciones llevadas a cabo en el marco del proyecto LIFE DREAMER, conocer su percepción en el ámbito de la desalación de agua, así como tratar sus preocupaciones y vacíos de conocimiento, con el objetivo final de aumentar la concienciación social sobre las tecnologías innovadoras de desalación de agua y sus principales beneficios, no solo técnicos y ambientales si no también económicos.

De los análisis llevados a cabo, se puede concluir que se ha observado una tendencia positiva de los stakeholders hacia la adopción de la solución desarrollada, haciendo que la desalación por ósmosis inversa sea más eficiente y sostenible, situando a LIFE DREAMER como un referente en Economía Circular.

Entidades participantes

En el proyecto LIFE DREAMER (www.life-dreamer.com), coordinado por el negocio de Agua de ACCIONA, empresa líder mundial en el sector de la desalación de agua de mar, han participado otras dos entidades de ámbito internacional: AQUASTILL, empresa líder en el campo de la destilación por membranas y actualmente una de las pocas empresas en el mundo que aplica esta tecnología a escala comercial para diferentes aplicaciones, y WE&B, empresa consultora especializada en investigación e innovación social y económica de los sectores hídrico y medioambiental.

Agradecimientos

El proyecto LIFE DREAMER, con un presupuesto superior a 1,6 millones de euros y una duración de 40 meses, ha sido cofinanciado por la Comisión Europea a través del Programa LIFE (LIFE16ENV/ES/000223). Se agradece el apoyo de la Mancomunidad de los Canales del Taibilla (MCT), organismo Autónomo dependiente de la Secretaría de Estado de Medio Ambiente del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, propietario de la IDAM de San Pedro del Pinatar II.

El proyecto ha sido galardonado en la categoría “Innovación para la desalación” en la conferencia Water & Energy Exchange Global 2020, un evento anual que reconoce las mejores iniciativas de agua en diferentes ámbitos. ■

of the plant, and was normalised per cubic metre of water produced. It was observed that for the different environmental impacts analysed (global warming, ozone layer depletion, marine eutrophication, etc.), the LIFE DREAMER option has potential impacts of around 15% lower than the conventional option, thus demonstrating the increased sustainability of the process.

Socioeconomic impact

In order to have a baseline from which to obtain a clear understanding of the socioeconomic impact of the developed solution, the project team, led by consortium member WE&B, carried out the identification and monitoring of “Context” and “Reference” indicators for Spain and Europe. Identification and recording of monitoring and impact indicators was also carried out for the local and regional area where the project was executed.

Key project stakeholders, as well as interested parties, have been identified and involved from the beginning of the project on an ongoing basis, through a series of participation sessions, including open days, workshops, focus groups and interviews. In this way, a two-way dialogue has been maintained to present actions carried out within the framework of the LIFE DREAMER project, with a view to gathering information on the perception of water desalination in these groups, and to address their concerns and knowledge gaps. The ultimate goal here has been to increase social awareness of innovative water desalination technologies and their main technical, environmental and economic benefits.

From the analyses carried out, it can be concluded that a positive trend has been observed among stakeholders in terms of acceptance of the solution developed, which will make reverse osmosis desalination more efficient and sustainable, whilst positioning LIFE DREAMER as a Circular Economy showcase.

Participating entities

The LIFE DREAMER project is coordinated by the Water Business of ACCIONA, a global leader in the seawater desalination sector. The project also features the participation of a further two international companies: AQUASTILL, a leader in the field of membrane distillation and currently one of the few companies in the world that implements this technology commercially for different applications, and WE&B, a consultancy firm specialising in social and economic research, as well as innovation in the water and environment sectors.

Acknowledgements

The LIFE DREAMER (www.life-dreamer.com) project has a budget of over 1.6 million euro and a duration of 40 months. The project is co-funded by the European Commission through the LIFE Programme (LIFE16ENV/ES/000223). It is appreciated the support of the Mancomunidad de los Canales del Taibilla (MCT), an autonomous body which operates under the auspices of the Secretariat of State for the Environment of the Ministry for Ecological Transition and Demographic Challenge. The San Pedro del Pinatar II SWDP belongs to the MCT.

The project received an award in the category of “Innovation for Desalination” at the Water & Energy Exchange Global 2020 conference, an annual event which gives recognition to the best initiatives in the different fields of water. ■

ACCIONA

Carlos Bayona, Olga Ferrer, Daniel García,
y Jorge J. Malfeito

WE&B

David Smith

AQUASTILL

Joana Carvalho