



Universidad
Politécnica
de Cartagena

*Análisis de las soluciones tecnológicas para las actuaciones de desalación y gestión de aguas desaladas recogidas en el “**Plan para la mejora de la eficiencia y la sostenibilidad en regadíos- Fase I**” (Plan de recuperación, transformación y resiliencia español), y justificación de su elección como mejor alternativa tecnológica disponible.*

Autores:

Dr. Ing. José Francisco Maestre Valero

Dr. Ing. Victoriano Martínez Álvarez



Universidad
Politécnica
de Cartagena

Sobre este informe

Este informe ha sido promovido por la Subdirección General de Regadíos, Caminos Naturales e Infraestructuras Rurales, de la Dirección General de Desarrollo Rural, Innovación y Formación Agroalimentaria, perteneciente al Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.

El objeto del trabajo es el análisis y evaluación tecnológica de las siguientes actuaciones de modernización de regadíos, incluidas en el “Plan para la mejora de la eficiencia y la sostenibilidad en regadíos” (Plan de recuperación, transformación y resiliencia español), con el fin de justificar su elección como la mejor alternativa tecnológica disponible para la producción y aplicación de aguas desaladas al regadío, considerando que se realice con el menor perjuicio posible sobre los objetivos medioambientales de mitigación y la adaptación al cambio climático.

- Proyecto de tratamiento de aguas de riego de la balsa del sapo (Almería).
- Proyecto de reconversión de la instalación de regeneración de aguas de la Comunidad de Regantes de Cuevas del Almanzora para el tratamiento con aporte de energía renovable por generación fotovoltaica y reacondicionamiento de red de distribución (Almería).
- Proyecto para la mejora de la calidad y del óptimo aprovechamiento de los recursos procedentes de aguas no convencionales y con incorporación de energías renovables en los regadíos de la Comunidad General de Riegos dDe Levante, Margen Izquierda del Segura (Alicante).
- Proyecto de balsa general de regulación en la Comunidad de Usuarios de Aguas de la Comarca de Níjar, en el paraje del Jabonero, T.M. de Níjar (Almería).
- Proyecto de distribución de agua con bombes fotovoltaicos en Palomares para la junta central de usuarios de aguas del valle del Almanzora. Comunidades de Regantes del Bajo Almanzora, Vera, S.A.T. Nº 2.503 de Antas y S.A.T. Agrolujo (Almería).
- Proyecto de planta solar fotovoltaica para bombeo hacia balsa Ballabona (Almería).
- Proyecto para la consolidación del regadío a partir de la optimización de aguas regeneradas en la isla de Formentera (Islas Baleares).
- Proyecto de modernización y mejora de la red de riego del golfo, T.M. la Frontera, Isla de el Hierro (Santa Cruz de Tenerife).
- Proyecto para la mejora de la regulación y gestión de las aguas para la Comunidad De Regantes de Alhama de Murcia (Región de Murcia).

La evaluación de cada una de las actuaciones se ha llevado a cabo mediante (1) el análisis transversal de las tecnologías aplicadas actualmente en las instalaciones de desalación y desalobración, identificando las que se consideran mejores para minimizar su impacto ambiental en el sector; y (2) una valoración específica de las tecnologías propuestas en cada una de las actuaciones enumeradas anteriormente, con el fin de acreditar si es o se encuentra

entre las mejores tecnologías disponibles actualmente para minimizar el posible perjuicio significativo a objetivos medioambientales a efectos de lo dispuesto en el artículo 17 del Reglamento (UE) 2020/852. En el caso de los proyectos que no incluyen instalaciones de desalación o desalobración, pero sus actuaciones van destinadas a la gestión y aplicación de estas aguas, se ha evaluado la idoneidad de dichas actuaciones para la optimización de la gestión y el uso del agua en las zonas regables afectadas.

Sobre los autores

Los Drs. José Francisco Maestre Valero y Victoriano Martínez Álvarez pertenecen al personal docente e investigador de la Universidad Politécnica de Cartagena (UPCT), formando parte del Grupo de Investigación Diseño y Gestión en Agricultura de Regadío de la UPCT.

D. José Francisco Maestre es Doctor Ingeniero Agrónomo, y Máster en Técnicas Avanzadas en Investigación y Desarrollo Agrario y Alimentario por la Universidad Politécnica de Cartagena. José F. Maestre es Profesor Titular de Universidad desde 2019 y atesora 16 años de experiencia en investigación sobre la gestión del agua en la agricultura y el uso de recursos hídricos no convencionales en el regadío. Ha realizado una estancia de investigación predoctoral en el UK Centre for Ecology and Hydrology (CEH) en Oxford y otra postdoctoral en el Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC). Ha participado en numerosos proyectos de investigación de ámbito europeo, nacional y regional, así como en contratos de investigación y asistencia técnica, de los que se derivan 52 artículos en revistas de alto impacto. Ha dirigido 2 tesis doctorales.

D. Victoriano Martínez es Doctor Ingeniero Agrónomo por la Universidad Politécnica de Madrid, y Máster en Hidrología General y Aplicada por el Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX). Victoriano Martínez es Catedrático de Universidad desde 2016 y atesora 26 años de experiencia en investigación y transferencia sobre la gestión del agua en la agricultura y el riego agrícola. Ha realizado estancias de investigación predoctorales en universidades en EEUU (University of Missouri-Columbia) y Canadá (University of Calgary), y posdoctoral en Australia (National Centre for Engineering in Agriculture). Ha participado en numerosos proyectos de investigación de ámbito europeo, nacional y regional, así como en contratos de investigación y asistencia técnica, de los que se derivan 55 artículos en revistas de alto impacto. Ha dirigido 7 tesis doctorales. Actualmente es director de la cátedra Universidad-Empresa “Trasvase y sostenibilidad - José Manuel Claver Valderas”.

Los autores han dirigido y participado en numerosos proyectos y contratos relacionados con los temas que competen a este informe: la desalinización de agua marina y la desalobración de aguas continentales o procedentes de estaciones de depuración para su uso en el regadío. Se destacan los siguientes:



- **PROYECTO I+D.** Sustainable use of irrigation water in the Mediterranean Region (SIRRIMED) – REF. FP/-KBBE-2009-3-245159 (01/06/2010 – 31/12/2013).
- **CONTRATO I+D.** SCRATS. Antecedentes y problemática de la aplicación de **agua marina desalinizada** al riego agrícola. REF. SCRATS-2014. (2014).
- **PROYECTO I+D.** Análisis económico, energético y de emisiones de GEI de las transferencias en los mercados del agua de la cuenca del Segura (19280/PI/14). Proyecto financiado por la Fundación Séneca (01/07/2015 – 31/06/2018).
- **CÁTEDRA Universidad – Empresa.** Cátedra Transvase y Sostenibilidad José Manuel Claver Valderas. REF. CUE-SCRATS 2017-2025-T (01/04/2017 – 01/04/2025). 5 años de actividad investigadora sobre el riego con **agua marina desalinizada** en la Región de Murcia.
- **PROYECTO I+D.** Sostenibilidad agro-fisiológica, ambiental y económica del riego con **agua marina desalinizada** en cítricos y sistemas hidropónicos semicerrados (RIDESOST) – REF. AGL2017-85857-C2-2-R. Proyecto financiado por Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades (1/01/2018 – 30/06/2021).
- **PROYECTO I+D.** **Desalinated seawater** for alternative and sustainable soilless crop production (DESEACROP) – REF. LIFE16 ENV/ES/000341. Proyecto financiado por Comisión Europea a través del programa LIFE-ENVIRONMENT (1/11/2017 – 31/12/2020).
- **PROYECTO I+D.** Nuevos avances tecnológicos para un manejo sostenible del riego con **agua marina desalinizada** (SEARRISOST). REF. RTC-2017-6192-2. Proyecto financiado por el Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades (1/10/2018 – 31/12/2021).
- **CONTRATO I+D.** La Tercia explotaciones. Estudio hídrico para la solicitud de concesión de **aguas desaladas** en Finca Lo Montanaro. REF. 4911/17IAEA (2017).
- **PROYECTO I+D.** Mejora de la sostenibilidad y viabilidad agro-económica y medioambiental de cultivos tradicionales regados con **agua marina desalinizada** mediante fertirriego inteligente (SEA4CROP). REF. PID2020-118492RA-C22. Proyecto financiado por Ministerio de Ciencia e Innovación (01/09/2021 – 31/08/2024).
- **CONTRATO I+D.** **Sostenibilidad, agua y agricultura en el siglo XXI** (SOS-AGUA-XXI). REFs: 7078/22IA-P, 7081/22IA-P, 7082/22IAP y 7084/22IA-P. Proyectos financiados por la Unión Europea a través de los fondos NextGeneration EU dentro del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia (01/10/2021 – 30/09/2024).
- **PROYECTO I+D.** Solutions for **GHGs emissions mitigation** for the mixed farming systems across different European climates (Solutions4Farming, PCI2021-122031-2A). Proyecto financiado por la Comisión Europea (Fondos NextGeneration EU) a través de la convocatoria de Proyectos de Colaboración Internacional 2021-22 del Ministerio de Ciencia e Innovación (01/11/2021 – 30/12/2023).

La experiencia acumulada en la ejecución de estos proyectos y contratos sobre la materia objeto de este informe justifica su selección para este trabajo.

Índice

	Página
1. Introducción y objetivos	1
2. Desalación y desalobración para uso agrícola en España.....	3
3. Tecnologías de desalación operativas	6
4. Descripción general de las instalaciones desaladoras y desalobradoras por OI	8
5. Tecnologías para los procesos de captación.....	11
6. Tecnologías para el pre-tratamiento	13
7. Tecnologías para los procesos de ósmosis inversa	15
8. Tecnologías para los procesos de postratamiento.....	19
9. Tratamiento y gestión de las salmueras.....	21
10. La desalobración como tratamiento en estaciones de regeneración de agua	24
11. Evaluación tecnológica de las propuestas del Plan	26
11.1. Proyecto de tratamiento de aguas de riego de la balsa del sapo (Almería).....	26
11.2. Proyecto de reconversión de la instalación de regeneración de aguas de la Comunidad de Regantes de Cuevas del Almanzora para el tratamiento con aporte de energía renovable por generación fotovoltaica y reacondicionamiento de red de distribución (Almería).....	31
11.3. Proyecto para la mejora de la calidad y del óptimo aprovechamiento de los recursos procedentes de aguas no convencionales y con incorporación de energías renovables en los regadíos de la Comunidad General de Riegos de Levante, Margen Izquierda del Segura (Alicante).....	36
11.4. Proyecto de balsa general de regulación en La Comunidad de Usuarios de Aguas de la Comarca de Níjar, en el paraje del Jabonero. T.M. de Níjar (Almería)	41

11.5. Proyecto de distribución de agua con bombeos fotovoltaicos en Palomares para la junta central de usuarios de aguas del valle del Almanzora. Comunidades de Regantes del Bajo Almanzora, Vera, S.A.T. Nº 2.503 de Antas y S.A.T. Agrolujo (Almería).....	45
11.6. Proyecto de planta solar fotovoltaica para bombeo hacia balsa Ballabona (Almería).....	50
11.7. Proyecto para la consolidación del regadío a partir de la optimización de aguas regeneradas en la isla de Formentera (Islas Baleares)	54
11.8. Proyecto de modernización y mejora de la red de riego del golfo, T.M. la Frontera, Isla de el Hierro (Santa Cruz de Tenerife)	58
11.9. Proyecto para la mejora de la regulación y gestión de las aguas para la Comunidad de Regantes de Alhama de Murcia (Región de Murcia).....	60
12. Síntesis y conclusiones	63
Referencias	65



1. Introducción y objetivos

El Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia de la economía española recoge una serie de actuaciones de modernización de regadíos que se fundamentan en la desalación de aguas de mar y aguas salobres como fuente de suministro hídrico. Los procesos de desalación de aguas salobres y marinas se caracterizan por un elevado consumo energético y por la generación de un efluente (salmuera) que generalmente se vierte al mar, procurando no causar un perjuicio significativo en el estado de conservación de los hábitats receptores. Estas características representan un encaje complicado de los procesos de desalación en los objetivos medioambientales según lo dispuesto en el artículo 17 del Reglamento (UE) 2020/852. Sin embargo, actualmente la incorporación de los recursos hídricos no convencionales (aguas desaladas y regeneradas) es imprescindible para conseguir la resiliencia de la agricultura de regadío en muchas regiones españolas, así como una estrategia a desarrollar en el futuro inmediato para garantizar la seguridad alimentaria frente a los efectos del cambio climático. Por estos motivos, **es necesario asumir la estrategia de desalación de aguas de mar y aguas salobres en las actuaciones de modernización de regadíos** del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia de la economía española, siendo el condicionante a considerar en las actuaciones propuestas que utilicen las mejores tecnologías disponibles en lo referente a la producción y manejo de las aguas desaladas, con el fin de «no causar un perjuicio significativo».

En los objetivos medioambientales, a efectos de lo dispuesto en el artículo 17 del Reglamento (UE) 2020/852, destacan la **capacidad de mitigación y adaptación al cambio climático**, relacionadas ambas con la emisión de gases de efecto invernadero de las actividades a valorar. En el ámbito de las actividades de producción y distribución de agua desalada, se asume que la mejor tecnología posible desde el enfoque de la mitigación del cambio climático es la que presenta un menor consumo específico de energía ($\text{kW}\cdot\text{h}/\text{m}^3$), ya que minimiza la emisión de gases de efecto invernadero. Además, se considera que la incorporación de energías renovables, como la fotovoltaica, representan la mejor estrategia adaptativa al cambio climático en el ámbito del suministro eléctrico.

Otra cuestión medioambiental a considerar sobre lo dispuesto en el artículo 17 del Reglamento (UE) 2020/852, es que las actuaciones no tendrán efectos en detrimento de los recursos hídricos y marinos. Por lo tanto, en lo referente al **tratamiento y gestión de efluentes (salmuera)** en las actuaciones de modernización de regadíos propuestas, donde la solución adoptada en todos los casos es el vertido al mar, deberán realizarse los estudios necesarios para acreditar que las soluciones propuestas no causan un perjuicio significativo en el estado de conservación de los hábitats receptores. Esta cuestión ya ha sido considerada en la Evaluaciones de Impacto ambiental (EIA) de las estaciones desaladoras operativas, como se justifica en este informe, y será necesaria para las estaciones desaladoras de nueva construcción.

Por tanto, el **objetivo general** de este informe es el análisis de las soluciones tecnológicas de las 9 actuaciones de modernización de regadíos, incluidas en el Plan de Recuperación,



Transformación y Resiliencia de la economía española, que se fundamentan en la producción o aplicación de aguas desaladas al regadío. Concretamente, en los **proyectos que incorporan nuevas instalaciones desaladoras** (3), se valora, conforme a la información aportada para cada actuación, si las tecnologías propuestas en cada fase del proceso de desalación son o se encuentran entre las mejores tecnologías disponibles para que la actividad se realice con el menor perjuicio posible sobre los objetivos medioambientales de mitigación y la adaptación al cambio climático. Por otra parte, en los **proyectos que no incluyen la producción de agua desalada** (6), pero sí su gestión y uso en el regadío, se valora la idoneidad de las actuaciones propuestas para la optimización del manejo que se hace de las aguas desaladas. Además, se aporta información sobre la tecnología de desalación aplicada en las estaciones desaladoras que suministran agua en cada proyecto, valorando el nivel de eficiencia de la tecnología actualmente disponible.

Para alcanzar estos objetivos, **el informe se ha estructurado en tres partes bien diferenciadas**. En primer lugar (Epígrafes 2 y 3) se presenta brevemente cuál ha sido la evolución y el estado actual de la desalación y desalobración para uso agrícola en España, así como las tecnologías de desalación operativas a la escala de producción propia de los proyectos de modernización de regadíos aquí considerados. A continuación (Epígrafes 4 a 10), se realiza un análisis transversal de las tecnologías aplicadas actualmente en cada una de las fases que integran los procesos de desalación y desalobración por ósmosis inversa, identificando las que se consideran mejores para minimizar su impacto ambiental en el sector. Finalmente (Epígrafe 11) se realiza una valoración específica de las tecnologías propuestas en cada uno de los proyectos analizados, con el fin de acreditar si son o se encuentran entre las mejores tecnologías disponibles actualmente para minimizar el posible perjuicio significativo a objetivos medioambientales a efectos de lo dispuesto en el artículo 17 del Reglamento (UE) 2020/852. En el caso de los proyectos que no incluyen instalaciones de desalación o desalobración, pero su actuaciones van destinadas a la gestión y aplicación de estas aguas, se ha evaluado la idoneidad de dichas actuaciones para la optimización de la gestión y el uso del agua en las zonas regables afectadas. El informe concluye con una síntesis y conclusiones sobre los aspectos analizados (Epígrafe 12).

2. Desalación y desalobración para uso agrícola en España

El continuo crecimiento de la población mundial y la necesidad de satisfacer sus necesidades de alimentos y servicios ha incrementado notablemente la competencia por el acceso a los recursos hídricos, habiéndose llegado en muchas regiones, generalmente de clima árido o semiárido, a disponer de una demanda superior a los recursos disponibles. Ante este escenario, agravado por los efectos del cambio climático sobre la disponibilidad de recursos hídricos, el uso de aguas no convencionales, no aptas para el abastecimiento directo doméstico, agrícola o industrial, es una alternativa que permite fortalecer el suministro hídrico necesario para múltiples actividades, favoreciendo su resiliencia ante la creciente situación de escasez hídrica. Estos recursos hídricos no convencionales se definen como aguas ajenas al ciclo hidrológico natural, es decir, aguas que no están disponibles de forma espontánea en la naturaleza y que, por lo tanto, requieren la intervención humana para su producción y adaptación a usos específicos. Estos recursos son principalmente (i) el agua marina desalinizada, (ii) las aguas continentales desalobradas y (iii) el agua regenerada.

Los recursos hídricos no convencionales se están convirtiendo en un complemento imprescindible de la planificación hidrológica de muchas regiones donde los problemas de escasez hídrica se están intensificando, como ocurre en la práctica totalidad de la cuenca mediterránea, y muy especialmente en el sureste y las regiones insulares españolas. Además, es previsible un crecimiento importante de las actuaciones dirigidas a la producción y uso de estos recursos, como se ha puesto de manifiesto en las actuaciones de modernización de regadíos incluidas en el Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia de la economía española.

A nivel mundial, existen más de 18.000 plantas desaladoras que producen cerca de 60 hm³/día de agua marina desalada y 40 hm³/día de agua desalobrada, procedente de distintas fuentes de aguas salobres (ríos, lagos, acuíferos, agua depurada, etc.) (IDA, 2019). España, con aproximadamente un 5,7% de la capacidad instalada, ocupa la cuarta posición mundial en desalación, por detrás de Arabia Saudí, Estados Unidos y Emiratos Árabes Unidos. La tecnología de desalación predominante es la ósmosis inversa (OI), que representa actualmente un 65% de la capacidad de producción instalada, y que se encuentra en continuo crecimiento puesto que representa más del 90% de la capacidad en los proyectos de desalación que se desarrollan actualmente. (IDA, 2019).

En España, la primera desaladora continental se construyó en Lanzarote en el año 1964. En los años 70 se instalaron diversas plantas en las islas Canarias dirigidas a hoteles y zonas turísticas y de ocio. En los años 80 se produjo una revolución de la OI se construyeron las primeras desaladoras cuyo destino fue la agricultura. En los años 90, se instalaron más de 300 plantas privadas de tamaño pequeño y medio (500 – 5000 m³/día) en las provincias de Alicante, Murcia y Almería, principalmente derivadas de la fuerte sequía del momento y la necesidad de la agricultura de buscar alternativas para la supervivencia. La mayoría de estas plantas fueron desalobradoras de agua subterránea. En 2004 el Gobierno de España aprobó el Programa A.G.U.A. (Actuaciones para la Gestión y la Utilización del Agua), propuesto por el Ministerio de

Medio Ambiente para dotar de recursos hídricos el abastecimiento y el regadío a las cuencas mediterráneas. El Programa A.G.U.A. supuso la apuesta por la desalación como estrategia clave para solucionar los problemas derivados del déficit de recursos hídricos existente en la costa mediterránea española, programando actuaciones capaces de producir hasta 500 hm³/año de agua desalada o desalobrada. En concreto, se planificó la puesta en marcha y construcción de 27 plantas desaladoras, de las que se han ejecutado la mayor parte.

El impulso del programa A.G.U.A. ha propiciado que actualmente el país tenga una capacidad instalada superior a los 5 hm³/día para abastecimiento, riego y uso industrial. En la actualidad se estima que en España hay 765 plantas desaladoras con producciones mayores de 100 m³/día, con más de 100 plantas con producciones mayores de 10.000 m³/día (AEDyR, 2018). De estas, 360 son desaladoras de agua de mar y 405 de agua salobre. Las mayores plantas de desalación de agua de mar son las de Torrevieja (240.000 m³/día) y Águilas (210.000 m³/día) y en el caso de aguas salobres, las potabilizadoras de El Atabal, en Málaga (200.000 m³/día) y Abrera, en Barcelona (200.000 m³/día), esta última con tecnología de electrodiálisis reversible (en el resto el uso de la tecnología de OI está generalizado). Es importante resaltar que la mayoría de las desaladoras se encuentra en operación, aunque algunas no funcionan a plena capacidad. La Figura 1 muestra la situación actual de las grandes desaladoras de agua de mar gestionadas por Acuamed en España.

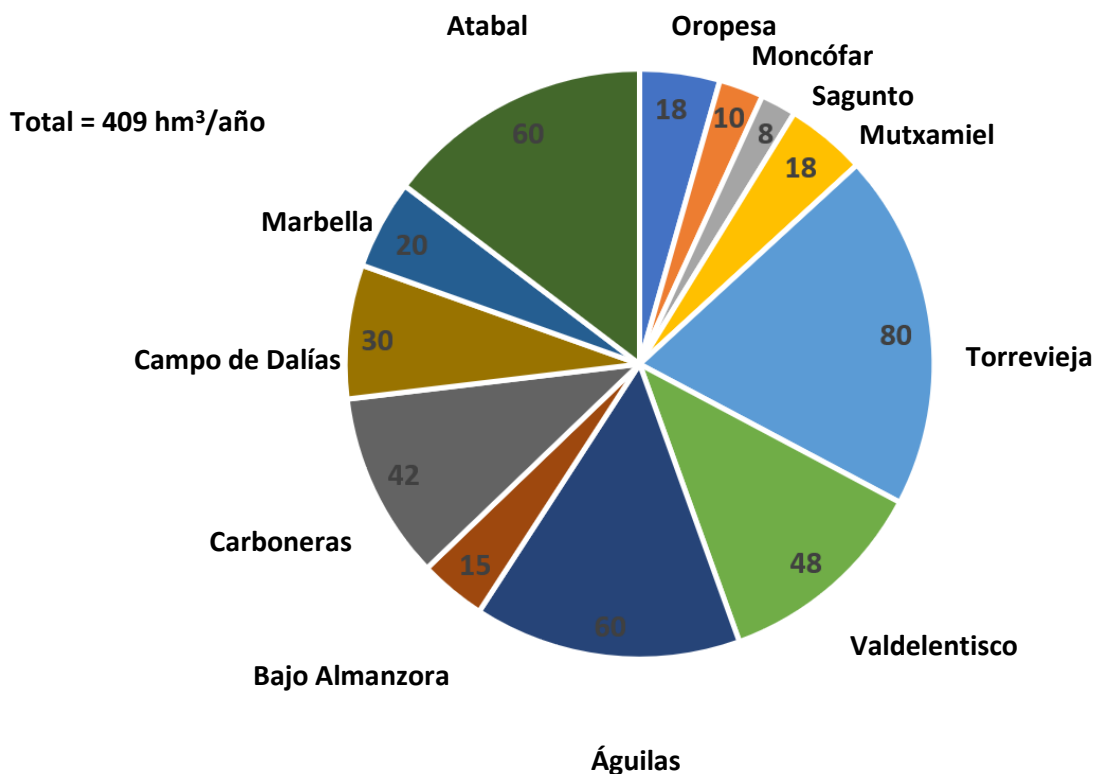


Figura 1. Situación actual de las grandes desaladoras de agua de mar de Acuamed en España. Fuente. Elaboración propia a partir de Zarzo (2020).



Con respecto al uso de agua desalinizada para agricultura, mientras que a nivel mundial solo representa el 2% del total de los usos, en España se alcanzan valores superiores al 21%. Muchas comunidades de regantes y empresas agrícolas ubicadas en el levante cuentan con agua desalinizada marina y agua desalobrada como parte de sus recursos hídricos, y las gestionan juntamente con el resto de los recursos disponibles: aguas superficiales, recursos externos trasvasados, aguas subterráneas y agua regenerada, consiguiendo de esta manera compensar las virtudes y defectos de cada fuente de agua (coste, salinidad, etc.) gracias a la mezcla de todos ellos. Las aguas desalinizadas, más popularmente denominadas “desaladas”, presentan unas características químicas singulares que las diferencian de los recursos convencionales, que se deben tener especialmente en cuenta cuando se destinan al riego; principalmente una dureza y una capacidad tampón muy reducidas, así como una elevada concentración de cloro, sodio y boro. Por consiguiente, el agua desalada para uso agrícola debe ser remineralizada e iónicamente equilibrada antes de su aplicación al riego. Distintos estudios han puesto de manifiesto que una correcta gestión del agua desalada permite incrementar la productividad y la calidad de las cosechas agrícolas cuando se compara con el riego mediante las aguas convencionales a las que sustituyen, que en el sureste español son habitualmente de calidad más reducida. Sin embargo, cabe destacar que existen algunos inconvenientes que limitan su uso agrícola, como son: (i) el elevado coste del agua desalada derivado principalmente importante consumo energético requerido en el proceso de OI, que representa entre un 70-80% del gasto energético total (Martínez-Alvarez et al., 2019); (ii) el incremento en los costes de fertilización, que varía desde un 3% de los costes anuales de producción para un cultivo de lechuga, hasta un 35% para un cultivo de limón (Martínez-Alvarez et al., 2020); y (iii) la elevada concentración de boro en el agua marina desalinizada, en torno a 1 mg/L si no se adoptan medidas específicas, puede dar lugar a problemas de fitotoxicidad en cultivos en cultivos sensibles a medio-largo plazo (Imbernón-Mulero et al., 2022).



3. Tecnologías de desalación operativas

Las tecnologías de desalación en el ámbito del regadío generalmente se aplican a aguas de tres tipos:

1. Agua de mar. Caracterizada por una salinidad elevada y uniforme, así como una disponibilidad prácticamente infinita.
2. Aguas salobres continentales, principalmente subterráneas, cuya salinidad es de origen geológico o resultado de la intrusión marina y/o actividades humanas. Su salinidad y composición puede ser muy variable, estando su disponibilidad generalmente asociada a las recargas naturales o artificiales del sistema hidrológico al que pertenecen.
3. Aguas depuradas salobres. Las estaciones depuradoras de aguas residuales situadas en zonas litorales suelen producir efluentes con una elevada salinidad, al verse afectadas por filtraciones de agua marina o salobre en las redes de saneamiento, que deben ser desaladas si se pretende su reutilización. Su disponibilidad está limitada por la generación de aguas residuales en el municipio donde se ubican y puede presentar oscilaciones importantes a lo largo en zonas turísticas.

En general, puede afirmarse que todas las tecnologías operativas para la desalinización de agua son aplicables a los tres tipos de aguas indicadas, aunque cada una de ellas presenta características diferenciadoras que las hace más adecuadas en función de las características del agua a tratar.

Las tecnologías de desalación actualmente operativas a la escala propia de las actuaciones recogidas en los proyectos de modernización de regadíos del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia pueden clasificarse en técnicas de desalinización por evaporación y técnicas de desalinización por membranas. El consumo de energía en los procesos de membrana depende de la salinidad de agua a tratar (agua bruta), mientras que en los procesos por evaporación no se da esta circunstancia.

Las técnicas de desalación por evaporación realizan la separación del agua y las sal mediante la evaporación del agua por aporte de energía, y su posterior condensación por enfriamiento. La industrialización de estos procesos ha dado lugar a distintas tecnologías constituidas por varias etapas y recirculaciones de distintas corrientes que pretenden optimizar el aprovechamiento del calor aportado, destacando las tecnologías de Evaporación Multietapa Flujos (EMF), Destilación por Múltiple Efecto (MED) y Compresión de Vapor (VC). Todas estas tecnologías se han empleado en países donde el coste de la energía es muy reducido, como los países del Golfo Pérsico, pero cada vez se utilizan menos como consecuencia de su falta de competitividad energética frente a las técnicas por membranas. En la actualidad, puede considerarse una alternativa a considerar solamente en proyectos donde exista un calor residual aprovechable, como sucede frecuentemente en las refinerías, plantas de ácido, las centrales eléctricas térmicas, etc.

Las técnicas de desalación por membranas consisten en un conjunto de operaciones de separación de uno o más componentes de una fase líquida utilizando una membrana con permeabilidad selectiva al mismo o a los mismos. En el caso de la desalación, los componentes que se separan son los iones disueltos en el agua bruta, generando como resultado una corriente con menor salinidad que el agua tratada (agua producto o permeado) y otra corriente con mayor salinidad que el agua tratada (salmuera o rechazo). Entre las técnicas de desalación por membranas, las tecnologías operativas son la electrodiálisis Reversible (EDR), la OI y la nanofiltración (NF). La EDR usa corriente eléctrica continua para separar las sales en un flujo de agua bruta, que se desplazan hacia los electrodos, según su carga eléctrica. En su tránsito hacia los electrodos, los iones positivos o negativos atraviesan membranas selectivas cuya configuración genera cámaras con sales (salmuera) y cámaras sin sales (permeado). Cada etapa de EDR elimina aproximadamente el 50-60% de sales, por lo que sólo es competitiva con aguas salobres de salinidad moderada, donde en 1 ó 2 etapas se obtiene la salinidad deseada en el agua producto. La OI utiliza el principio de ósmosis para eliminar la sal y otras impurezas, haciendo pasar el agua bruta a través de una serie de membranas semipermeables en el sentido contrario de la ósmosis directa o natural, para lo cual debe aplicarse una presión creciente con la salinidad del agua. Mediante la OI se obtienen dos flujos, uno que pasa a través de la membrana semipermeable y está prácticamente libre de sales (agua producto o permeado); y otro no pasa a través de la membrana semipermeable y queda con una mayor concentración de sales (salmuera o rechazo). Se trata de la técnica más empleada en la actualidad con notable diferencia, ya que como consecuencia de la continua mejora tecnológica en los distintos procesos que comprende, es la que presenta un menor consumo específico (kWh/m^3) de energía. La NF es un proceso prácticamente idéntico a la OI, donde el tipo de membranas empleado es efectivo en la separación de iones divalentes o de gran tamaño (sulfatos, Ca^{2+} , Mg^{2+} , ...), pero deja pasar los iones monovalentes predominantes en el agua de mar y en las aguas salobres (Cl^- , Na^+), por lo que su aplicación sólo es apta para reducir la salinidad producida por estos iones (reducción de la dureza en aguas salobres).

Además, existe un numeroso grupo de técnicas innovadoras de desalación en estado experimental o desarrolladas en pilotos a pequeña escala, como la congelación, el intercambio iónico, la formación de hidratos, la pervaporación, las células microbianas de desalación, etc. Estas técnicas actualmente no se encuentran operativas a la escala de trabajo requerida en los proyectos considerados en este informe.

Por tanto, se puede afirmar que la mejor tecnología operativa disponible para la desalación de aguas salobres y de mar a la escala de trabajo propia de los proyectos de modernización de regadíos es actualmente la OI, cuyo consumo de energía es sensiblemente inferior a los procesos por evaporación, y además está directamente relacionado con la salinidad del agua bruta, por lo que con las aguas salobres puede resultar especialmente reducido. Esta circunstancia se ve refrendada por el hecho de que la inmensa mayoría de los proyectos de desalación que se plantean actualmente a escala nacional e internacional, tanto de agua de mar como de agua salobre, se estén realizando con esta tecnología (IDA, 2019).

4. Descripción general de las instalaciones desaladoras y desalobradoras por OI

Las plantas que emplean la tecnología de OI producen agua desalada a partir de agua de mar o agua salobre, que puede ser a su vez convertida en agua potable o apta para otros usos tras someterse a los post-tratamientos correspondientes. No existen diferencias significativas entre el diagrama de proceso de una Estación Desaladora de Agua de Mar (EDAM) y de una estación desalobradoras, diferenciándose generalmente en las instalaciones de captación del agua bruta, los requerimientos de post-tratamientos y las magnitudes características en los parámetros de operación de la OI (presión de trabajo, consumo específico, factor de conversión, corte de sales, etc.). La Figuras 2 y 3 recogen el diagrama de flujo y el esquema característico de este tipo de instalaciones, respectivamente.

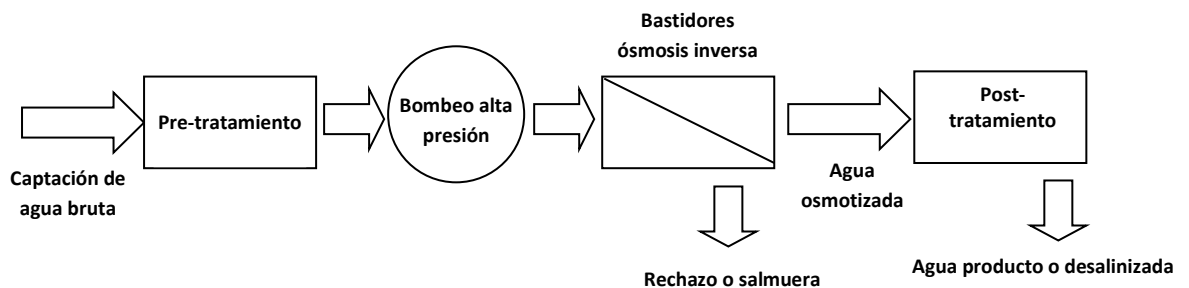


Figura 2. Diagrama de flujo de los procesos de desalinización por ósmosis inversa.

Tanto las EDAMs como las estaciones desalobradoras disponen en primer lugar de una serie de instalaciones para la captación y abastecimiento de agua bruta a la planta. El agua bruta se somete a una serie de pretratamientos, cuya finalidad es adecuar su calidad a las condiciones necesarias para optimizar el funcionamiento de las membranas de OI y evitar cualquier daño sobre las mismas. Una vez superada esta fase, el agua bruta es sometida a un bombeo de alta presión hasta alcanzar la presión necesaria para el proceso de OI, siendo este el punto de mayor demanda energética de todo el proceso. El agua bruta presurizada se conduce a las membranas de OI, que se organizan en bastidores donde pueden configurarse a distintas etapas o pasos de OI, siendo el resultado final dos flujos diferenciados. El primer flujo es el agua osmotizada, que es la parte del agua bruta que atraviesa la membrana semipermeable y pierde la práctica totalidad de la presión. El segundo flujo es el rechazo o salmuera, que es la parte del agua bruta que no atraviesa la membrana semipermeable y queda con una presión residual importante, que puede ser recuperada mediante distintas tecnologías para aumentar la eficiencia global del proceso de OI.

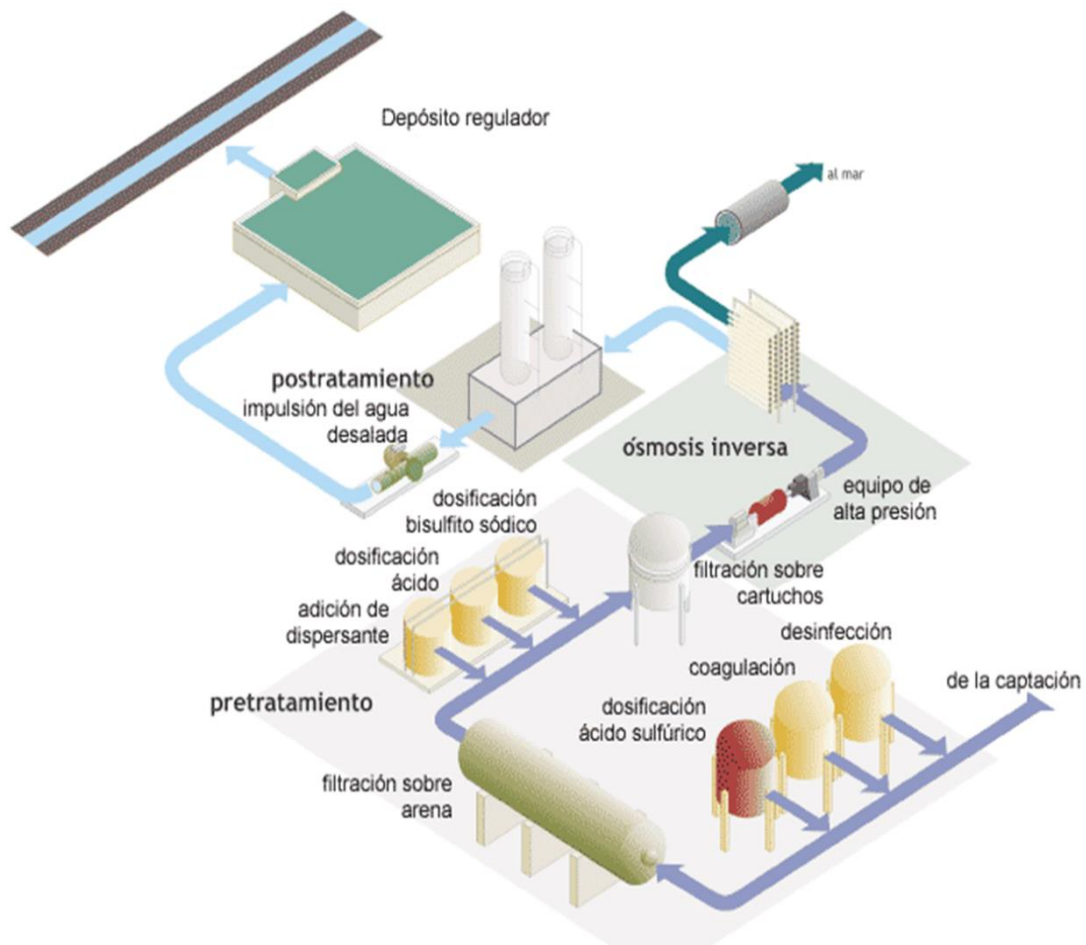


Figura 3. Esquema general de una planta desalinizadora o desalobradoradora. Imagen adaptada de Requena (2020).

El agua osmotizada tiene unas características fisicoquímicas (pH, índice de Langelier, alcalinidad, concentración de Ca y Mg, concentración de B, etc.) que no permiten su vertido directo a los sistemas de suministro domésticos o de regadío, ni tampoco la hacen apta para dichos usos. Para acondicionar el agua osmotizada se realizan post-tratamientos de estabilización y remineralización, pasando entonces a denominarse “agua desalinizada” o, más popularmente, “agua desalada”. Si se trata de un agua bruta salobre también es frecuente el término “agua desalobrada”.

El rechazo o salmuera tiene generalmente una composición química similar al agua bruta, pero con una mayor concentración de sales, por lo que la gestión de su vertido resulta compleja. En las EDAMs, la solución generalizada consiste en devolverla al mar lejos de la costa, mediante emisarios submarinos y sistemas de mezcla y difusión que minimicen sus impactos en los ecosistemas receptores. En el caso de las estaciones desalobradoras, la problemática es mayor, especialmente si se encuentran alejadas del mar, ya que la salmuera puede presentar altas concentraciones de nutrientes (nitratos principalmente) cuyo vertido puede poner en riesgo el estado ambiental del medio receptor.



Como se ha mencionado, el diagrama de flujo de la Figura 2 y el esquema de la Figura 3 son válidos también para las estaciones desalobradoras, siendo la principal diferencia con las EDAMs el valor de los parámetros de operación en la OI, ya que la salinidad de las aguas salobres suele encontrarse entre 5 y 10 veces por debajo de la del agua marina. Las principales diferencias en estos parámetros de operación son las siguientes:

- El contenido de sólidos disueltos (TDS) del agua salobre se encuentra generalmente entre 2 y 10 g/L, mientras que el agua marina presenta valores entre 37 y 39 g/L en el Mediterráneo.
- La presión de trabajo en los bastidores de OI de las estaciones desalobradoras se encuentra entre 10 y 20 bar, mientras que en las EDAMs se sitúa entre 60 y 70 bar.
- Las conducciones en los bastidores de OI de la estaciones desalobradoras se realizan con tuberías plásticas, mientras en el caso de las EDAMs es necesario recurrir a acero inoxidable u otras aleaciones metálicas con mayor timbraje.
- El consumo energético específico ($\text{kW}\cdot\text{h}/\text{m}^3$) en bastidores de OI de estaciones desalobradoras suele ser de 1/3 a 1/6 del consumo específico en las EDAMs.
- Los costes específicos de explotación ($\text{€}/\text{m}^3$) en estaciones desalobradoras también suelen encontrarse entre 1/3 a 1/6 de los que se producen en las EDAMs.
- El factor de conversión (porcentaje de agua producto con relación al agua bruta) de las estaciones desalobradoras se sitúa entre el 70 y el 90%, mientras en las EDAMs se encuentra en torno al 45-50%.

5. Tecnologías para los procesos de captación

El propósito de las instalaciones de captación es asegurar el caudal de agua bruta (de mar o salobre) necesario durante toda la vida de la planta, con la máxima calidad posible, sin que su construcción y posterior operación supongan impactos ambientales inasumibles.

En el caso del EDAMs, el diseño de la captación debe evitar la influencia de desembocaduras de ríos y ramblas, donde es previsible la presencia de sólidos en suspensión y coloides, zonas portuarias, donde es previsible la presencia de hidrocarburos y aceites, o zonas donde se realice cualquier tipo de vertido que pueda alterar la composición original del agua de mar. Existen distintas tecnologías para los procesos de captación, que se clasifican según se muestra en la Figura 4:

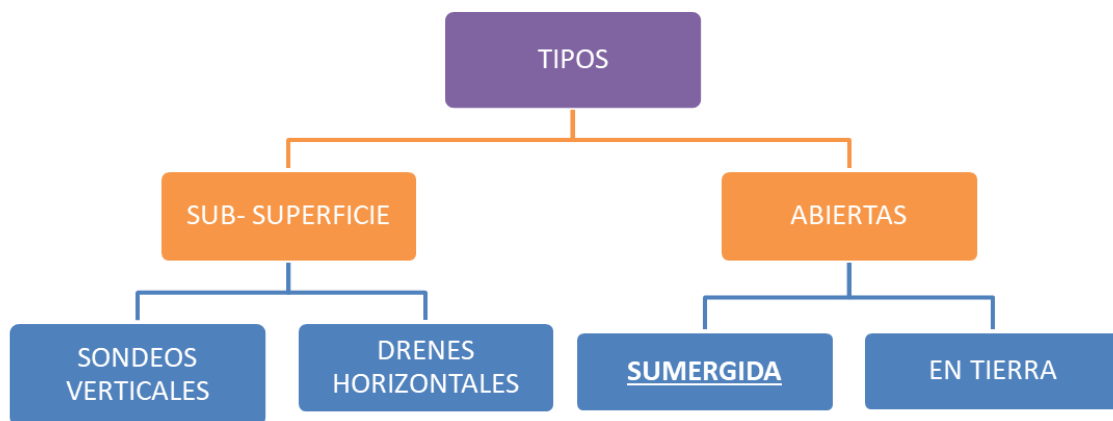


Figura 4. Tipos de captaciones de agua de mar.

Entre las captaciones subsuperficiales se encuentran los sondeos verticales y los drenes horizontales, que en ambos casos se caracterizan por proporcionar una agua de mayor calidad que las captaciones abiertas, ya que el agua es filtrada a través del lecho marino o del acuífero. Como inconveniente, suelen presentar un menor caudal de captación y con menor uniformidad a lo largo de la vida útil de la planta. En este grupo también se incluyen las galerías perforadas bajo el lecho marino.

Entre las captaciones abiertas se encuentran las tomas sumergidas y las tomas en tierra, que ofrecen mayores garantías en cuanto a los caudales a suministrar, pero están más expuestas a posibles efectos locales que afecten a la calidad del agua bruta.

Ninguna de estas tecnologías se puede calificar como la mejor disponible actualmente, ya que cada una de ellas puede ser la más adecuada en función de las características locales de la costa o de la idiosincrasia de cada proyecto. Sin embargo, dado que la temperatura del agua bruta es un factor determinante en la capacidad de corte de sales de las membranas de OI, la tendencia actual es intentar garantizar la menor temperatura y la mayor uniformidad de esta variable en el agua bruta a lo largo del año, siendo generalmente las tomas abiertas



sumergidas las que mejor permiten optimizar estas variables juntamente con una elevada garantía en cuanto a disponibilidad del caudal de agua bruta requerido. Por estos motivos, pueden considerarse las más recomendables en EDAMs de forma general, siempre que no se hayan realizados estudios o ensayos específicos en favor de la aplicación de cualquier otra de las tecnologías mencionadas.

En el caso de las estaciones desalobradoras, el origen del agua bruta puede ser mucho más variado (aguas subterráneas, aguas depuradas, drenajes agrícolas, aguas superficiales, etc.), circunstancia que condiciona el diseño de la instalación de captación. Lo habitual es disponer de pozos con bombas sumergibles en el caso de las aguas subterráneas; de drenes horizontales o tomas directas en canales en el caso de drenajes agrícolas; y de impulsiones o tomas directas desde cámaras de rotura en el caso de aguas depuradas. En estos casos, la elección de la tecnología más recomendable queda completamente condicionada por la idiosincrasia de cada proyecto, ya que suele ser necesario adaptarse a las instalaciones ya existentes en la fuente de agua bruta.

En todos los casos, debe considerarse que el principal objetivo de la captación debe ser garantizar un agua bruta de la mayor calidad posible, de forma que se reduzcan las necesidad de pre-tratamientos, sobre todo en lo que al número y concentración de aditivos químicos se refiere.

6. Tecnologías para el pre-tratamiento

La función de los pre-tratamientos es adecuar la calidad del agua bruta a las condiciones óptimas en las membranas de OI, optimizando su funcionamiento y evitando daños en las mismas. La OI, al ser una técnica donde el agua pasa a través de una membrana, exige que los niveles de sólidos en suspensión y material orgánico (arcillas, microalgas, etc.) sean lo más bajos posibles, evitando su rápido ensuciamiento y el correspondiente descenso del factor de conversión. Se diferencia entre pretratamientos físicos y químicos, según se muestra en la Figura 5:

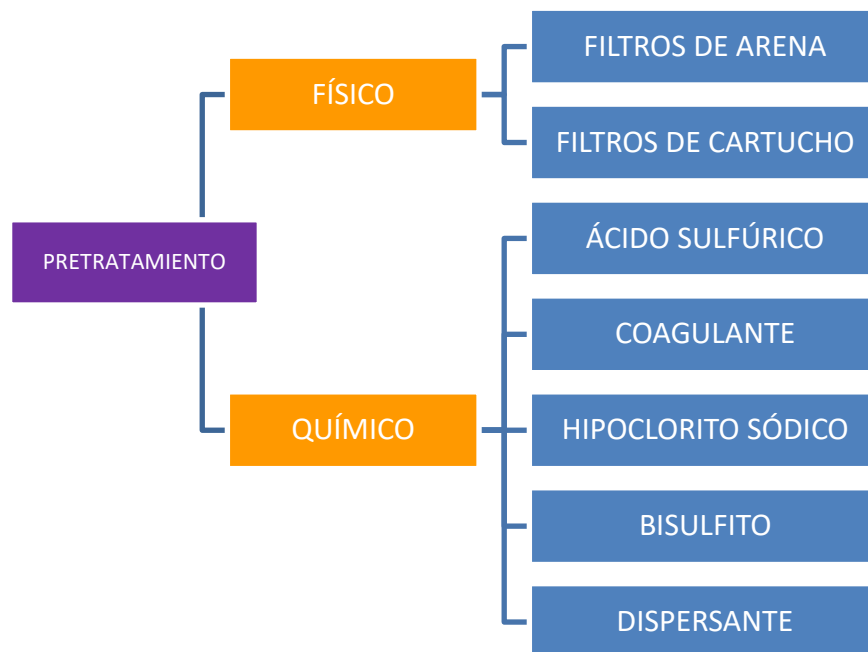


Figura 5. Tipos de pretratamientos en estaciones desaladoras.

Los **pre-tratamientos físicos** van encaminados a eliminar del agua partículas, grasas, elementos asociados a sólidos en suspensión, etc., es decir, básicamente aquellos componentes del agua que pueden ser separados por una barrera física, sea una membrana, un filtro u otro sistema de separación. Cuando el agua bruta presenta problemas importantes de calidad, puede ser necesario disponer en primer lugar de sistemas de desbaste, tamizado, decantación y clarificación del agua bruta. Sin embargo, lo habitual es que el sistema de captación proporcione suficiente calidad para tratarla directamente con sistemas de filtración multimedia (filtros de disco, lechos filtrantes de arena, filtros de cartucho, etc.). La configuración más habitual consiste en una primera filtración sobre lechos de arena, que se implementan en una o dos etapas, en función de la calidad del agua bruta, y en una segunda filtración con cartuchos de 5-10 μm de paso (microfiltración), que se realiza una vez se han añadido todos los reactivos del pretratamiento químico. Como alternativa a estos sistemas convencionales, las instalaciones de pre-tratamiento físico pueden consistir en sistemas de microfiltración (MF) o ultrafiltración (UF), que tienen la capacidad de producir un agua de mejor calidad, pero que también necesitan un filtrado físico previo a 80-150 μm y requieren de



dosificaciones químicas específicas y sistemas auxiliares, circunstancia que suele derivar en mayores costes de operación y que justifican que sea una alternativa minoritaria.

Los **pretratamientos químicos** consisten en la adición de reactivos con dos objetivos fundamentales: (i) ajustar las características del agua bruta para facilitar su pre-tratamiento físico y (ii) acondicionarla para reducir los riesgos químicos y biológicos en las membranas de OI, como son: ensuciamientos químicos y/o biológicos, ataque a la estructura química de las membranas, proliferación de microorganismos, precipitaciones, corrosiones, etc., y así optimizar el funcionamiento de las membranas de OI. Dentro del primer conjunto de reactivos se encuentran el ácido sulfúrico (H_2SO_4) y el cloruro de hierro ($FeCl_3$), que tienen una acción coagulante/floculante sobre las partículas orgánicas y minerales para facilitar su eliminación en los procesos de filtrado. En el segundo grupo de reactivos se encuentran el bisulfito sódico ($NaHSO_3$), un potente agente reductor que elimina la presencia de oxidantes y cloro en el agua bruta, y un antiincrustante, cuya finalidad es evitar la precipitación de sales en las membranas de OI, permitiendo alcanzar un mayor factor de conversión. Adicionalmente, si el agua bruta presenta microalgas o bacterias, puede ser necesaria la aplicación de un biocida, generalmente hipoclorito sódico ($NaClO$), así como algún tipo de ácido si el pH al final del pre-tratamiento no es adecuado.

La tendencia actual se orienta hacia una mayor inversión en sistemas de captación del agua bruta, que garantice un suministro de gran calidad y permita minimizar las necesidades de pretratamientos físicos y químicos. Cuando se consigue este objetivo, la configuración más habitual está constituida por una filtración multimedia (lechos de arena o filtros de disco + microfiltración con cartuchos) y adicción continua de antiincrustante, quedando el resto de los reactivos disponibles para su uso eventual en el caso de aparecer problemas específicos de calidad. Por tanto, aunque esta configuración es actualmente la más empleada, no se puede afirmar que sea la mejor tecnología disponible actualmente, ya que cada estación desaladora demanda pre-tratamientos físicos y químicos específicos, que deben determinarse mediante una campaña de análisis del agua bruta, que puede incluso requerir la construcción de un piloto en el caso de suministros con aguas complejas.

7. Tecnologías para los procesos de ósmosis inversa

En las estaciones desaladoras, la finalidad de la fase de OI es la separación del agua bruta en dos flujos, uno con menor salinidad (agua osmotizada o permeado) y otro con mayor salinidad (salmuera o rechazo), obteniendo con la máxima eficiencia y confiabilidad la calidad de agua y el caudal requeridos. La Figura 6 muestra el equipamiento empleado y la organización más actual de los distintos flujos de agua en el proceso de OI en estaciones desaladoras. Se pueden diferenciar tres procesos, con su tecnología específica:

- El bombeo de alta presión.
- La OI propiamente dicha.
- El sistema de recuperación de energía.

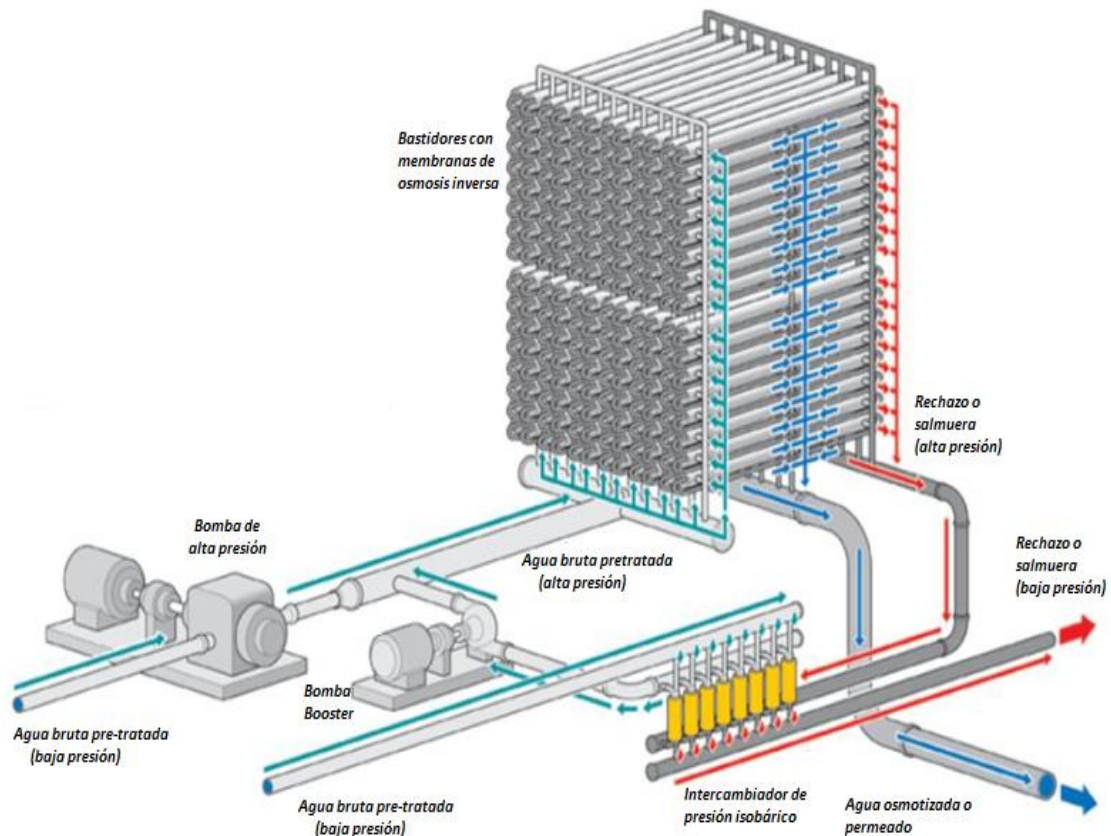


Figura 6. Esquema de funcionamiento en los procesos de ósmosis inversa. Figura adaptada de Poseidon Water (2022).

El **sistema de bombeo de alta presión** tiene el objetivo de dotar al flujo de agua bruta pre-tratada la presión necesaria para la separación de sales mediante el proceso de OI, que suele estar entre 60 y 70 bar en EDAMs y entre 10 y 20 bar en estaciones desalobradoras. La mejor tecnología disponible para esta finalidad es el empleo de bombas centrífugas multicelulares en EDAMs, y de bombas centrífugas, generalmente de cámara partida, en desalobración.

Una vez que se ha proporcionado la presión necesaria al agua bruta pre-tratada, ésta se conduce a los bastidores con **membranas de OI**. Estos bastidores consisten en unos tubos horizontales de diámetros normalizados denominados módulos, en cuyo interior se montan las membranas de OI. La organización de las membranas de OI en módulos y bastidores facilita los procesos de limpieza y sustitución, minimizando las necesidades de espacio. Actualmente se utilizan membranas de poliamida aromática, que tienen un flujo específico de agua más elevado, una mayor retención de sales y una menor presión de operación que las membranas de acetato de celulosa utilizadas con anterioridad, por lo que disminuyen considerablemente el consumo de energía. Las poliamidas son más estables a un rango más amplio de pH pero son más susceptibles a la degradación oxidativa que provoca el cloro libre. Se manejan dos tipos de membranas de poliamida aromática en los módulos y bastidores: de fibra hueca y de arrollamiento en espiral. Las membranas de arrollamiento en espiral están conformadas por un tubo en cuyo interior se alojan varias capas de membranas planas, separadas unas de otras por un espaciador que mantiene abierto un canal de flujo para la alimentación. En el caso de membrana de fibra hueca, el agua bruta presurizada circula por fuera de las fibras mientras el filtrado circula por el interior de estas hacia el final de la fibra, donde se recoge el permeado de los miles de fibras que contiene cada una ellas. Esta tecnología contiene más superficie por unidad de volumen que las espirales, por lo que son más demandadas en plantas desalinizadoras de gran tamaño, mientras que las de arrollamiento en espiral son las comunes en estaciones de mediano y pequeño tamaño. La tecnología de membranas más recomendable actualmente en desalación es la TFC (*Thin Film Composite*), que consiste en una capa activa de poliamida reticulada densamente aromática (0.2 μm), una capa de soporte de polisulfona microporosa (40 μm), y una base de poliéster considerablemente más gruesa (120-150 μm).

Los **sistemas de recuperación de energía** tienen como objetivo recuperar la mayor parte posible de la presión residual con la que sale la salmuera, que es igual a la de aporte de la bomba de alta presión menos la pérdida de carga en los bastidores (unos 3 bares generalmente). Se trata del proceso cuya tecnología ha experimentado un mayor avance tecnológico en las últimas décadas, permitiendo reducir significativamente los consumos de energía específica ($\text{kW}\cdot\text{h}/\text{m}^3$) en la desalación. De esta forma, se ha pasado de la utilización de bombas invertidas, al empleo de turbinas Francis o Pelton y, actualmente, a los intercambiadores isobáricos de presión, que se han convertido en el nuevo estándar en este ámbito.

Los intercambiadores isobáricos (Figura 6), de los que actualmente hay en el mercado de distintos fabricantes (ERI, Dweer, RO Kinetic, iSave, ...), son dispositivos que transfieren directamente la alta presión de la salmuera al agua bruta de entrada, poniendo en contacto ambas corrientes, según se muestra en el esquema de la Figura 7.

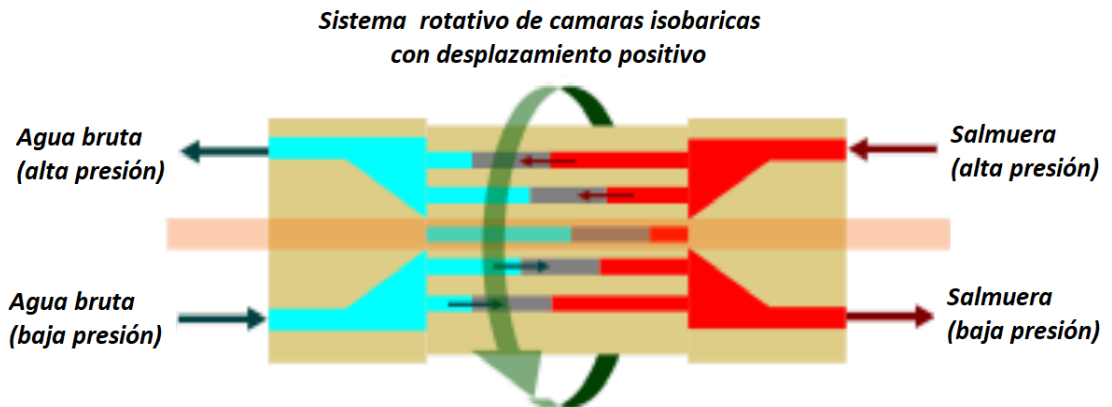


Figura 7. Esquema de funcionamiento de un intercambiador isobárico rotativo. Figura adaptada de Hmong (2022).

Entre estos sistemas, el más demandado por sus numerosas ventajas frente a los demás, es el sistema rotativo ERI-PX (Arenas Urrea, et al. 2019). Se trata de un sistema que para su funcionamiento no requiere de energía eléctrica, ni programador, ni sensores, ni válvulas, alcanzando un rendimiento del 98%, por lo que puede considerarse la mejor tecnología disponible actualmente para la recuperación de la energía de la salmuera para EDAMs.

En estaciones desaladoras la presión de trabajo es generalmente muy inferior a las EDAMs, por lo que la cantidad de energía recuperable en la salmuera también es bastante más reducida. Por este motivo existen alternativas en la organización de los procesos de OI y en la recuperación de energía, no tan eficientes como los intercambiadores isobáricos, pero que presentan ventajas operativas y menores inversiones. Entre estas configuraciones, la realización de dos etapas de OI, donde la energía residual del rechazo de la segunda etapa es recuperada mediante un turbocompresor (*turbocharger*) para incrementar la presión de entrada a la segunda etapa, es una de las mejores tecnologías disponibles (Figura 8). En este caso, los *turbochargers* permiten recuperar entre el 60 y el 80% de la presión residual de la salmuera.

Por tanto, en lo que se refiere a la tecnología asociada a los procesos de OI, la mejor tecnología operativa disponible actualmente consiste en la combinación del uso de membranas TFC de alta permeabilidad y sistemas de recuperación de energía, siendo recomendables los intercambiadores isobáricos rotativos para presiones propias de la desalación de agua marina (60-70 bares), y los *turbochargers* para presiones propias de la desalación de aguas salobres (10-20 bares). En el caso de las EDAMs, esta tecnología debe permitir alcanzar un consumo específico de energía en los bastidores de OI en torno a $2 \text{ kW}\cdot\text{h}/\text{m}^3$, cifra que debería quedar por debajo de los $3 \text{ kW}\cdot\text{h}/\text{m}^3$ al considerar el consumo de todas las fases del proceso en planta, sin considerar la impulsión final al sistema de distribución (Martínez-Álvarez et al., 2019). Para las estaciones desaladoras no es posible fijar cifras de referencia en cuanto a consumos específicos de energía, ya que dependerán de la salinidad del agua bruta.

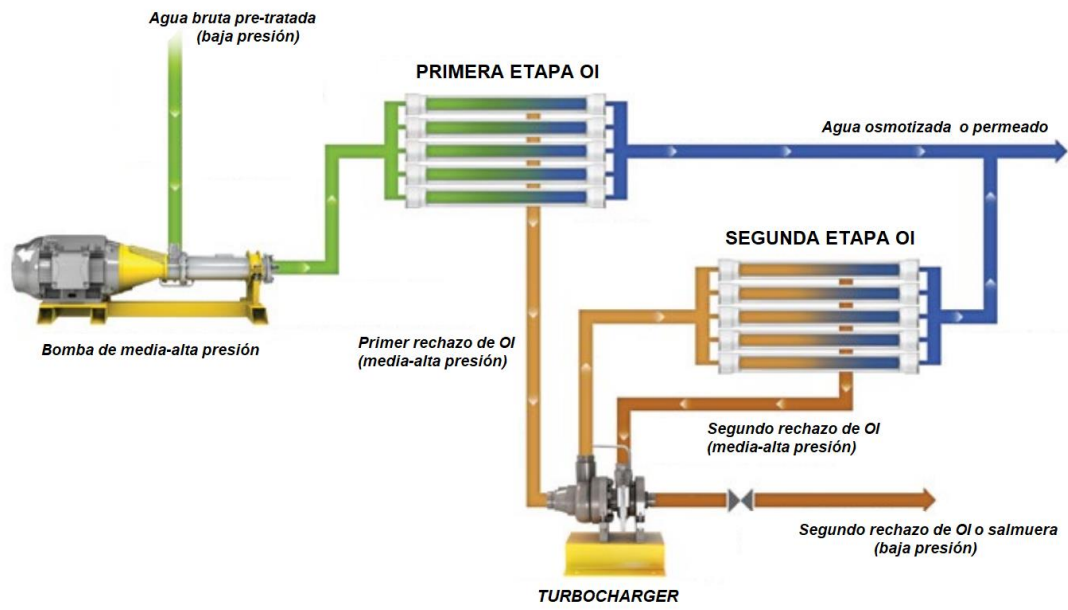


Figura 8. Esquema de funcionamiento de bastidores de ósmosis inversa para la desalobración en 2 etapas, con recuperación de energía por turbocompesor o *turbocharger*. Figura adaptada de LennTech (2022).

8. Tecnologías para los procesos de postratamiento

El agua que sale de los bastidores de OI (agua osmotizada) se caracteriza por tener un pH muy ácido, muy baja alcalinidad, muy baja dureza, un índice de Langelier claramente negativo y un índice de absorción de sodio elevado. Bajo estas condiciones no puede verterse a los sistemas de distribución por su alta capacidad corrosiva y de movilización de precipitados de carbonato, ni utilizarse en ninguno de los usos habituales (doméstico, agrícola o industrial) por los desequilibrios en su composición fisicoquímica. Por este motivo, el agua osmotizada se somete a post-tratamientos que permiten acondicionarla al uso a que va a ser destinada, por lo que la configuración de esta última etapa queda condicionada por dicho uso.

El post-tratamiento más importante es el de remineralización, que es necesario con independencia del uso final del agua desalinizada. La remineralización consiste en aportar sales al agua que permitan incrementar su dureza y alcalinidad, reducir su índice de absorción de sodio, y equilibrar su índice de Langelier. Hay principalmente dos procedimientos para realizar la remineralización: mediante la adición de CO_2 y una lechada saturada de hidróxido cálcico, o mediante la adición de CO_2 y el uso de lechos filtrantes de calcita, según se muestra en la Figura 9.

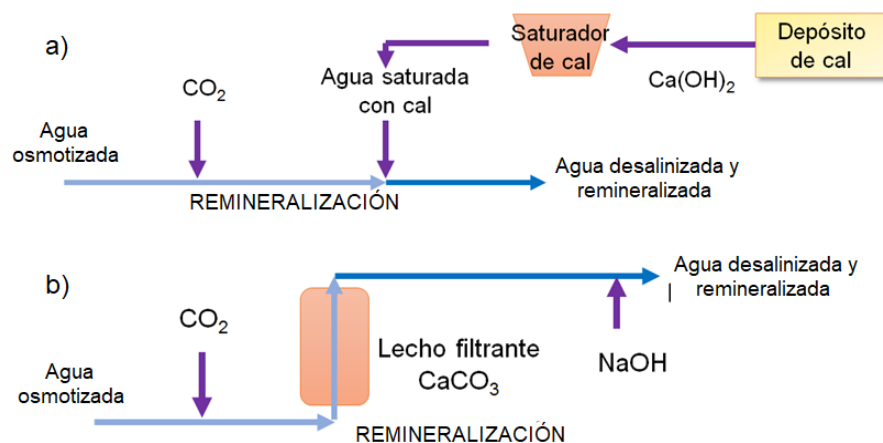


Figura 9. Principales procedimientos para la remineralización del agua osmotizada. a) con lechada de hidróxido cálcico, y b) con lechos filtrantes de calcita.

La solución tecnológica más extendida actualmente es la aplicación de lechadas de hidróxido cálcico mediante el empleo de saturadores de cal (opción a en la Figura 9), que reducen la turbidez en el agua desalinizada. Los lechos de calcitas conllevan el suministro, manejo y reparto continuo de calcita, así como ciertos riesgos de atascamiento o ensuciamiento asociados a las impurezas que pueda contener la calcita, por lo que su operación resulta más compleja que el suministro y manejo de hidróxido cálcico.

En el caso de que el uso final del agua desalinizada sea el riego agrícola, el control de la concentración de boro (B) en el agua producto también puede ser objeto de un post-tratamiento específico. La concentración de B en el agua marina desalinizada se limita generalmente a 1 mg/L, que es el valor máximo según el Real Decreto 140/2003, por el que se

establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano (valor que se mantiene en el Real Decreto 902/2018, por el que se modifica el anterior). Sin embargo, esta concentración de B puede resultar fitotóxica para los cultivos más sensibles (Martínez-Alvarez et al., 2016), por lo que es recomendable disminuir su concentración hasta valores en torno a 0,5 mg/L. Los cultivos más sensibles a una elevada concentración de B son los cultivos leñosos, especialmente los cítricos (naranja, mandarina y limonero) y los frutales de hueso (albaricoquero, melocotonero y almendro), por lo que en las plantas desaladoras que abastezcan zonas regables con presencia de estos cultivos deberían implementarse un post-tratamiento para reducir su contenido en el agua producto. Esta circunstancia se ha producido en varias EDAMs del sureste español, donde el agua producto se destina mayoritariamente al riego de zonas con abundancia de cítricos, como la EDAM de Torre Vieja, que disponen de tecnología para poder limitar la concentración de B en el agua producto a 0,5 mg/L (CEDEX, 2021). Concretamente, la tecnología aplicada actualmente consiste en hacer pasar una fracción del agua osmotizada por un segundo paso de OI, empleando membranas especialmente selectivas con el B, de forma que su concentración se reduzca hasta prácticamente 0 mg/L. Esta fracción de agua sometida a un 2º paso por membranas se mezcla con el agua osmotizada procedente del primer paso, en una proporción adecuada para ajustarse a la concentración final de boro de 0,5 mg/L. La fracción de agua tratada en un segundo paso de OI es variable, ya que hay distintas variables (la temperatura del agua bruta o el pH) que condicionan el nivel de selectividad de las membranas en la separación del B.

En el caso de que el uso final del agua desalinizada sea el suministro doméstico, también resulta necesario aplicar un post-tratamiento desinfectante, con el fin de garantizar el correcto estado sanitario del agua a lo largo del sistema de distribución. Este tratamiento consiste en la aplicación de productos biocidas, generalmente compuestos clorados. Este tratamiento no resulta necesario en los suministros agrícolas, donde el proceso de OI ya garantiza la ausencia de virus y bacterias en el agua producto, y donde la presencia de compuestos clorados puede resultar en problemas de fitotoxicidad en cultivos sensibles.

En plantas desaladoras para suministro agrícola puede plantearse una alternativa de post-tratamiento a las mencionadas anteriormente, que es la mezcla del agua osmotizada con una pequeña fracción (5-15%) de agua salobre bruta o pretratada. Esta alternativa resulta muy interesante cuando la salinidad del agua bruta procede principalmente de cationes divalentes (Ca^{2+} , Mg^{2+}) y aniones como el bicarbonato (HCO_3^-) y el sulfato (SO_4^{2-}), ya que en estos casos se pueden corregir los problemas de pH, dureza, alcalinidad, índice de Langelier, del agua osmotizada manteniendo unos niveles de salinidad aceptables para el riego agrícola. Sin embargo, cuando la salinidad del agua bruta procede principalmente de los iones Cl^- y Na^+ , circunstancia frecuente en las zonas litorales, esta alternativa de post-tratamiento sólo conseguirá incrementar la salinidad del agua producto y su concentración en iones perjudiciales para el desarrollo de los cultivos.

Finalmente, tras el post-tratamiento, el agua desalinizada es almacenada y/o entregada a los usuarios mediante los depósitos, balsas, impulsiones y demás sistemas hidráulicos necesarios para satisfacer los requerimientos del punto de entrega.



9. Tratamiento y gestión de las salmueras

En el campo de la desalación, se entiende por salmuera el rechazo o concentrado procedente del proceso que contiene las sales extraídas del sistema. Las características de las salmueras dependen básicamente de: (i) el origen y las características físico-químicas del agua bruta, (ii) la conversión del sistema, (iii) la tecnología utilizada y factores de operación como la temperatura, que influye en la cantidad y tipo de sales que pasan al agua producto y en las que quedan en el rechazo, y (iv) los efluentes tratados de las operaciones realizadas en la propia desaladora (agua de lavado de filtros, productos químicos de limpieza de membranas, etc.).

En general, la salmuera de una EDAM es básicamente agua de mar concentrada con aproximadamente el doble de su salinidad, pues la conversión típica de plantas costeras ronda el 45-50%, más trazas de los productos químicos utilizados en el pretratamiento (especialmente antiincrustante) y los caudales procedentes de la estación de tratamiento de los distintos efluentes generados en la planta. Por lo tanto, el vertido de la salmuera de una EDAM al mar no debe representar un problema desde el punto de vista ambiental si se realiza de forma adecuada, con una dilución previa, los preceptivos estudios de impacto ambiental durante la fase de diseño y construcción, y el seguimiento ambiental periódico del medio receptor para realizar acciones correctoras si fuesen necesarias. Sin embargo, este no es el caso de la salmuera generada en estaciones desaladoras, cuya localización puede estar alejada del litoral, y para la cual todavía no existe un modelo general de gestión sostenible y económicamente viable, circunstancia por la que su tratamiento y gestión dependerá de la idiosincrasia de cada actuación. Las aguas salobres pueden tener diversa composición fisicoquímica en función de su origen, y además variar significativamente a lo largo de la explotación de la planta, por lo que la salmuera generada en las plantas desaladoras puede presentar características muy diversas, con problemáticas y modelos de gestión singulares par cada caso de estudio. Adicionalmente, la posible presencia de elementos tóxicos o contaminantes en el agua bruta, que pasarán al rechazo y serán concentrados tras el proceso, podría generar una problemática de difícil solución con estos vertidos. Incluso en estaciones desaladoras costeras, las características de la salmuera pueden ser muy diferentes a las características del agua del mar y dificultar en este sentido su vertido. Un claro ejemplo es la elevada presencia de nutrientes como nitratos en las aguas salobres generadas en zonas regables, o la de fosfatos en las aguas regeneradas salobres, que pueden favorecer procesos de eutrofización y por lo tanto el deterioro de las masas de agua receptoras. Estas condiciones pueden incluso hacer inviables algunos proyectos de desalación ante la imposibilidad planificar y ejecutar sistemas de gestión de salmueras eficientes, sostenibles y económicamente viables.

Con el fin de abordar la problemática de la elevada presencia de nutrientes en las salmueras procedentes de la desalación de aguas con elevadas concentraciones de nitratos (aguas subterráneas y drenajes agrícolas generalmente), existen una serie de tecnologías para su desnitrificación. Entre ellas destacan, por su capacidad de adaptación al tratamiento de grandes caudales de salmuera y prácticamente nulo consumo de energía, los biorreactores con distintos tipos de biomasa como fuente de carbono para los microorganismos nitrificantes.

Entre ellos, cabe destacar (UPCT, 2018) los que utilizan como biomasa astillas de madera u otros materiales ligno-celulósicos de escaso coste procedentes de rechazo de otras actividades (paja, restos de podas, etc.). Otras tecnologías para la desnitrificación, más habituales en el ámbito de la depuración de aguas residuales, son los reactores por lotes de secuenciación con metanol como sustrato de carbono para microorganismos desnitrificadores, reactores de manto de lodos de flujo ascendente, biorreactores de membrana, reactores absorbentes de lecho fluidizado y electrodiálisis, etc. Sin embargo, cabe mencionar que no se han encontrado referencias de la aplicación de estas técnicas en estaciones desalobradoras a la escala de las que se consideran en este informe, por lo que deben considerarse tecnologías aún en proceso de investigación y desarrollo.

Respecto al vertido de la salmuera al mar, hay que considerar que debido a la concentración en los procesos de OI, la densidad de la salmuera es más elevada que la de la propia agua de mar, lo que provoca que tenga tendencia a permanecer en el fondo marino. Las salmueras pueden por lo tanto afectar al medio marino modificando el pH del agua, el oxígeno disuelto, la concentración de materia orgánica, los sólidos en suspensión o nutrientes, etc. Por lo tanto, su vertido se encuentra condicionado a la implementación de medidas que favorezcan su dilución y dispersión.

Las alternativas para la gestión y valorización de salmueras pasan principalmente por: (i) descarga de las salmueras en masas de agua, (ii) concentración de salmueras y (iii) valorización de salmueras (Zarzo et al. 2017).

Respecto a la **descarga de las salmueras en masas de agua**, la práctica totalidad de las EDAMs vierten sus salmueras al mar. Estas descargas requieren estudios de impacto ambiental, de fondo marino, de las corrientes marinas, del estado fisicoquímico del agua, de temperatura, etc., al objeto de determinar el punto de descarga más adecuado y con menor impacto. Además, los vertidos requieren estudios técnicos basados en modelos matemáticos, como por ejemplo Cormix, para determinar la dilución y dispersión necesarios al objeto de evitar daños medioambientales. De esta forma se puede analizar el efecto sobre ecosistemas sensibles, como las praderas de Posidonia oceánica, de gran importancia ecológica en la costa mediterránea. Diversos estudios indican que esta especie se ve afectada cuando los valores de salinidad son inferiores a 29 g/L y/o superiores a 40 g/L (Fernandez-Torquemada and Sanchez-Lizaso, 2005). En el caso de las estaciones desalobradoras también la mayor parte de las salmueras son descargadas al mar o a masas de aguas continentales, mayoritariamente superficiales, e incluso directamente a sistemas de saneamiento. Otra de las posibles alternativas para la descarga de salmueras (principalmente para instalaciones de interior) es la inyección en acuíferos profundos, práctica está muy extendida en países como Estados Unidos, aunque no es posible en España.

La **concentración de salmueras** tiene como objetivo obtener una salmuera lo más concentrada posible con el fin de reducir su volumen y facilitar su gestión. Los métodos disponibles para concentrar las salmueras son (i) incrementar la conversión del sistema para producir más agua producto a partir de la misma cantidad de agua bruta, incluso con pasos adicionales por



membranas semipermeables, aunque esta conversión se encuentra limitada químicamente por las sales insolubles que precipitan en el sistema cuando se supera su producto de solubilidad, y (ii) la concentración por evaporación, mediante el empleo de energía artificial, evaporadores, o natural en balsas de evaporación pasiva o forzada mediante aspersores.

La **valorización de salmueras** es sin duda el destino más conveniente desde cualquier punto de vista: ambiental, económico o técnico. Esta valorización puede realizarse mediante (i) valorización de la salmuera en las propias desaladoras, (ii) usos potenciales de las salmueras, y (iii) uso de tecnologías emergentes. La valorización de la salmuera en las propias desaladoras se refiere al aprovechamiento de su energía residual mediante sistemas de recuperación de energía (ya tratados en el Epígrafe 6), a su uso en tratamientos de limpieza, y a la producción de productos químicos in-situ. Los usos potenciales de las salmueras se refieren a su conversión en productos o subproductos, como la obtención de sales mediante la evaporación natural o extracción con disolventes orgánicos, la obtención de productos de valor económico como la fabricación de hipoclorito sódico, la alimentación de especies acuáticas como la Tilapia o algas extremófilas como la *Spirulina* en acuicultura, la conversión en suplementos alimenticios para el ganado, o aplicaciones medioambientales mediante su empleo en humedales, canales y como recarga de acuíferos, entre otros. Estos usos se encuentran actualmente bajo estudio e investigación. Finalmente, se podrían usar con distintos fines mediante tecnologías emergentes como la *forward osmosis*, la pervaporación, la destilación de membrana, la desionización capacitiva, las membranas biomiméticas, las acuaporinas, las células de combustible microbianas, la bioelectrogénesis, la electrodiálisis metátesis o la electrodiálisis con membranas bipolares. Sin embargo, estas tecnologías se encuentran todavía en fase de investigación o no han conseguido pasar de las fases de pilotaje o desarrollo de prototipos.

10. La desalobración como tratamiento en estaciones de regeneración de agua

En España la reutilización de las aguas regeneradas en estaciones de regeneración (ERA) se encuentra regulada por el Real Decreto 1620/2007. Este decreto, en su Anexo I, expone los criterios de calidad para la reutilización de las aguas según sus usos: urbanos, agrícolas, industriales, recreativos y medioambientales. A partir del 26 de junio de 2023 será aplicable a toda Europa el Reglamento (UE) 2020/741 del parlamento europeo y del consejo, el cual en su Anexo I expone los posibles usos y sus requisitos mínimos. Es importante destacar que ambas normativas se basan principalmente en aspectos microbiológicos como presencia de *E-coli*, nematodos intestinales y otros parámetros físicos como DBO₅, sólidos en suspensión o turbidez. Sin embargo, a parte de estos parámetros, los reglamentos no definen otras características importantes para que el agua pueda ser destinada de una forma sostenible al riego agrícola, como por ejemplo su conductividad eléctrica. La infiltración de agua de mar en los colectores de saneamiento que abastecen las estaciones de depuración (EDAR) costeras es un fenómeno frecuente que hace que las aguas residuales a la entrada de la EDAR tengan niveles de conductividad eléctrica elevados, que pueden alcanzar hasta 5 ó 6 dS/m. Las EDAR convencionales eliminan la materia orgánica y los sólidos en suspensión de las aguas residuales, pero no las sales, por lo que la desalobración de estas aguas regeneradas salobres es una cuestión de creciente interés para su reutilización en la agricultura.

Regar con agua con elevada salinidad no es agrónomicamente viable pues se ha demostrado que, el rendimiento de los cultivos se encuentra estrechamente relacionado con la salinidad del suelo y la del agua de riego (Maas y Hoffman, 1977) de modo que una vez se sobrepasa un umbral de salinidad específico para cada cultivo, el rendimiento disminuye de forma cuasi-lineal con la salinidad. Adicionalmente, el riego con aguas de elevada salinidad provoca el incremento de salinidad de los suelos y su deterioro agronómico. La Tabla 1 presenta el modelo más extendido para estimar el rendimiento de los cultivos en función de la salinidad del suelo o del agua de riego, así como los valores umbrales de salinidad y la pendiente de la reducción de rendimiento para varios cultivos representativos del regadío mediterráneo.

Por lo tanto, el agua regenerada producida en las EDAR y ERA costeras puede requerir un tratamiento específico de desalación para su uso agrícola si presenta una elevada conductividad eléctrica y limita significativamente la productividad de los cultivos de regadío. Este tratamiento es similar al que se implementa en las plantas desalobradoras para la reducción de la salinidad mediante procesos de OI (Shtull-Trauring et al., 2020). Además, los tratamientos de OI permiten obtener un agua completamente regenerada pues son capaces de eliminar todos los virus y bacterias presentes en el agua depurada, según se muestra en la Figura 10. Por lo tanto, permiten obtener un agua que se ajusta de forma satisfactoria a los criterios de calidad establecidos tanto por el Real Decreto 1620/2007 como por el nuevo Reglamento Europeo 2020/741.

Tabla 1. Rendimiento de cultivos en función de la salinidad del suelo o de la salinidad del agua de riego. Valores adaptados de Maas y Grattan (1999) and Ayers y Westcot (1985).

Cultivo	Función (Ec.1)		$Y_r = 100 - b (EC_{e\ o\ a} - a)$	
	Umbral		Pendiente ^b	
	CE_e^a	CE_a^a	CE_e^a	CE_a^a
	dS/m		%/(dS/m)	
Melón	2,2	1,5	7,1	10,9
Lechuga	1,3	0,9	13,2	20,8
Limonero	1,7	1,1	12,8	24,2
Naranja	1,7	1,1	16,7	21,7
Melocotonero	1,7	1,1	21,0	31,8
Tomate	2,5	1,7	10,0	14,7
Pimiento	1,5	1,0	13,9	20,8

^a CE_e y CE_a hacen referencia a la conductividad eléctrica del extracto de saturación y del agua de riego, respectivamente.

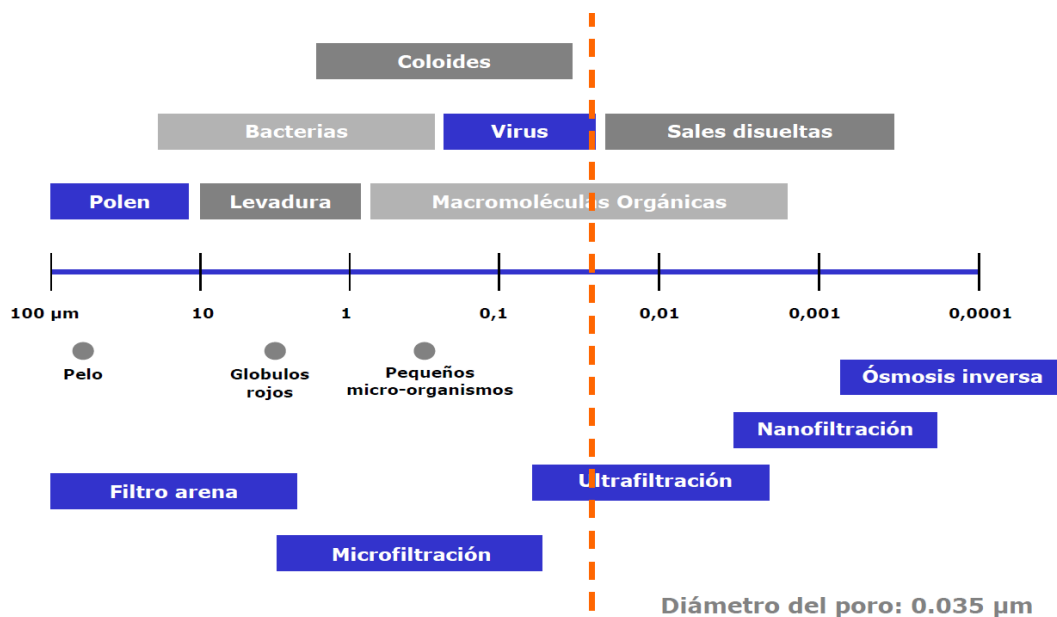


Figura 10. Microorganismos retenidos según diferentes filtraciones.

11. Evaluación tecnológica de las propuestas del Plan

11.1. Proyecto de tratamiento de aguas de riego de la balsa del sapo (Almería)

Comunidad de Regantes	CR Sol y Arena
Provincia	Almería
Términos municipales afectados	El Ejido, La Mojonera, Roquetas de Mar y Vícar
Origen del agua	<ul style="list-style-type: none"> • Aguas continentales subterráneas de pozos (sondeos). • Aguas continentales superficiales del Embalse de Benínar. • Aguas desaladas de la IDAM del Campo de Dalías.
Superficie total de la C.R.	6.600 ha
Superficie afectada por la actuación	6.600 ha
Infraestructuras necesarias	<ul style="list-style-type: none"> • Planta desalobradoradora (captación, explanaciones, urbanización, instalaciones de proceso, instalaciones eléctricas, automatización y Telecontrol). • Depósito de 300 m³ y estación de impulsión de agua regenerada de 160 l/s a 104 mca. • Planta solar de 350 kWp e instalación 100 kWp de placas fotovoltaicas en naves de proceso. • Entronque con tuberías existentes para vertido
Presupuesto estimado de la actuación	6.890.000,00 € (IVA no incluido).
Descripción detallada de la actuación, objetivo y justificación	
<p>La Comunidad de Regantes Sol y Arena consume actualmente unos 27,6 hm³/año, de los cuales aproximadamente 21,3 hm³/año corresponden a aguas subterráneas concesionadas extraídas de 15 pozos, siendo el resto del agua consumida precedente de aguas continentales superficiales (0,2 hm³/año) del Embalse de Benínar y de aguas no convencionales (aguas desaladas de la IDAM del Campo de Dalías, 6,2 hm³/año). Estos consumos están afectando al estado cuantitativo de los acuíferos. La Comunidad de Regantes Sol y Arena, en su firme compromiso a favor de la recuperación del acuífero, en los últimos años ha experimentado una notable reducción del uso de aguas subterráneas en favor de aguas no convencionales (desalación) y su objetivo es aumentar aún más el uso de los recursos no convencionales. En la zona, la Balsa del Sapo es un afloramiento del acuífero superior convertido en un humedal de unas 130 ha dividido en 2 áreas separadas por unos pocos metros. La Comunidad de Regantes Sol y Arena tiene una concesión de 3,4 hm³/año de recursos superficiales de la Balsa del Sapo para su uso en el riego de las 6.600 ha a cambio de igual volumen de la concesión actual de aguas subterráneas. Actualmente la conductividad del agua de la Balsa del Sapo (≈ 4 dS/m) hace inviable su aprovechamiento para riego, mientras que por otro lado es imprescindible bombear al mar como mínimo el volumen de agua concesionado, determinado por el IGME, para evitar que la lámina de agua de las balsas (Este y Oeste) suba de un determinado nivel (22,5 m) que compromete tanto las condiciones ambientales de la Balsa del Sapo (mantener la flora y la fauna) como la seguridad de núcleos de población ribereños.</p> <p>La actuación plantea implantar una estación desalobradoradora para conseguir una calidad adecuada para el riego con objeto de su reutilización y así favorecer la disminución de las extracciones de los recursos subterráneos utilizados, que en caso de utilizar los recursos de la Balsa del Sapo concesionados sería el equivalente a las extracciones de 2 pozos. La actuación considera la instalación de tres líneas de tratamiento, con capacidad de producción superior a 3.000 m³/día/línea</p>	

= 15.000 m³/día, que incluyen la adecuación de obra civil y equipos de la captación, explanaciones, urbanización, instalaciones de proceso (microfiltración, ultrafiltración, OI e instalaciones eléctricas, automatización y telecontrol).

El vertido de la salmuera, estimado en 20 L/s con una conductividad eléctrica próxima a 20 dS/m y 272 mg/L de nitratos será al mar. Se plantean dos opciones. 1.- Usar la tubería actual que vierte al mar en la zona de rompientes, que hasta ahora se usa como vertido directo de la balsa o 2.- usar alguno de los dos emisarios municipales existentes en el mismo entorno, en la zona de la Romanilla y que se usan en la actualidad para el alivio del agua residual al mar que no trate la EDAR existente.

El aprovechamiento de las aguas de la Balsa del Sapo se plantea mediante la Implantación de energías renovables (350 kWp de instalación en planta + 100 kWp de placas fotovoltaicas en naves de proceso) que permitirá un 30% de autoconsumo por generación propia y que representan un soporte para reducir la dependencia energética de las energías fósiles, y, asimismo, contribuir en la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.

Esta actuación se enmarca en los siguientes objetivos medioambientales: (i) la adaptación al cambio climático, (ii) la mitigación del cambio climático, (iii) uso sostenible y protección de los recursos hídricos, (iv) transición hacia una economía circular, (v) prevención y control de la contaminación y (vi) protección y recuperación de la biodiversidad y de los ecosistemas.

Los datos técnicos de la actuación se muestran a continuación.

Datos generales	
Ubicación (municipio)	El Ejido
Descripción general de la actuación	Planta desalobrador para regeneración del agua recogida en la denominada Balsa del Sapo con una capacidad de producción de 15.000 m ³ /día para tratar un volumen total de 3,4 hm ³ /año.

Agua bruta	
Origen del agua	Aguas recogidas en la denominada Balsa del Sapo con origen un afloramiento del acuífero superior, escorrentía superficial y posibles filtraciones/drenaje del terreno.
Conductividad eléctrica (dS/m)	4
Nitratos (mg/L)	64

Datos generales de diseño y explotación	
Capacidad de producción (m ³ /día)	15.000
Producción máxima agua producto (hm ³ /año)	2,8
Potencia total instalada (MW)	0,82
Consumo de energía específico (sin contar distribución) (kWh/m ³)	1,01



Consumo de energía específico en distribución (kWh/m³)	0,4
Consumo de energía específico en ósmosis inversa (kWh/m³)	0,683
Tecnología de producción eléctrica o suministro eléctrico	Conexión a red y fotovoltaica. Instalación de planta solar de 350 kWp en parcela anexa a las instalaciones de regeneración e instalación 100 kWp de placas fotovoltaicas en naves de proceso.
Porcentaje de autoconsumo por generación propia de energía renovables (%).	30
Características tecnológicas de la planta	
Tipo y tecnología de captación de agua bruta	Captación directa de la balsa mediante la creación de un pozo artificial protegido con un espaldón de escollera/grava.
Tecnología/s de pretratamiento	Filtro de disco, ultrafiltración y filtro de cartucho previo a la ósmosis inversa.
Tecnología de desalación y configuración (pasos/etapas)	Ósmosis inversa con dos pasos para optimización del proceso y aprovechamiento de la presión.
Factor de conversión total (% agua producto):	80-85
Tipo de membrana de OI	Membranas spiral-wound, TFC (Thin Film Composite) con diámetro de 200 mm.
Presión de trabajo en bastidores de OI (bar)	11,5
Tecnología de recuperación de energía en OI y eficiencia	La energía residual en la salmuera se aprovecha para su transporte hasta el mar, a través de las conducciones ya existentes.
Tecnología de remineralización	Mezcla con aguas procedentes de otras fuentes.
Características de la salmuera	



Tipo de tratamiento que se da a la salmuera y/o lugar de destino	Vertido al mar
Conductividad eléctrica (dS/m)	20
Concentración de nitratos prevista (mg/L)	272

Informe técnico sobre la actuación

La principal actuación recogida en el proyecto es la construcción de una nueva planta desalobradoradora mediante OI (mejor tecnología operativa disponible), con una capacidad de 15.000 m³/día (3,4 hm³/año), siendo el resto de las actuaciones (depósitos, impulsión y entronque) obras complementarias necesarias para integrar los nuevos recursos generados en el sistema de distribución de la Comunidad de Regantes Sol y Arena. Además, se incluye una planta solar fotovoltaica capaz de satisfacer el 30% del consumo eléctrico de la planta desalobradoradora.

Para la captación del agua bruta se propone una solución bien adaptada a la fuente de agua superficial disponible, que consiste en una captación directa de la Balsa del Sapo mediante la creación de un pozo artificial protegido con un espaldón de escollera/grava. Esta solución permitirá un pre-filtrado del agua bruta, que al ser de origen superficial puede presentar un contenido importante de material orgánico y mineral. Por lo tanto, se considera una buena solución tecnológica, adaptada a la singularidad del proyecto.

En el pre-tratamiento se propone una filtración multimedia constituida por: filtro de discos + ultrafiltración + filtro de cartucho. Se trata de una tecnología ampliamente extendida que garantiza tanto el adecuado tratamiento del agua bruta antes del proceso de OI como la protección de las membranas.

La tecnología propuesta para la desalobración consiste en dos etapas de OI con un factor global de conversión del 80-85%, y donde la energía residual del rechazo de la segunda etapa es aprovechada para su transporte hasta el mar a través de la conducción ya existente. Se estima que este rechazo tendrá una presión residual en torno a 8 bares, y que será consumida en su práctica totalidad en superar el desnivel de 20 m en la conducción existente y en compensar las pérdidas de carga en los 7,6 km de longitud de esta. Por tanto, no resulta aplicable ningún sistema de recuperación de energía en el rechazo. Esta configuración, junto al empleo de membranas TFC de alta permeabilidad, es una propuesta que optimiza el consumo energético específico (kW·h/m³) en esta actuación y, consecuentemente, minimiza las emisiones de gases de efecto invernadero, considerándose plenamente satisfactoria desde el punto de vista tecnológico. La incorporación de una planta solar fotovoltaica capaz de satisfacer el 30% del consumo eléctrico representa una medida adaptativa que persigue el desarrollo del proyecto con el menor perjuicio posible sobre los objetivos de mitigación y adaptación al cambio climático.

Para el post-tratamiento se propone la mezcla con aguas procedentes de otras fuentes de la comunidad de regantes, lo que redundará en un coste específico (€/m³) más reducido del agua producto, solución que se considera idónea siempre que haya un correcto control del porcentaje de mezcla en función de las características del agua osmotizada y las aguas disponibles de otras



fuentes. Por tratarse de una zona regable de cultivos hortícolas fundamentalmente, no se considera necesario realizar un tratamiento específico para el control de la concentración de boro en el agua producto, circunstancia que tampoco ha sido considerada en el proyecto.

Para el vertido de salmuera, con caudal 20 L/s, se plantean 2 opciones: (1) usar la tubería actual que vierte al mar en la zona de rompientes, que hasta ahora se usa como vertido directo de la balsa; o (2) usar alguno de los dos emisarios municipales existentes en el mismo entorno, en la zona de la Romanilla y que se usan en la actualidad para el alivio del agua residual al mar que no trate la EDAR existente. La estrategia de vertido de la salmuera al mar es satisfactoria siempre que su implementación garantice que no se causa un perjuicio significativo en el estado de conservación de los hábitats receptores. En este sentido, ninguna de las alternativas aparece suficientemente definida, pero hemos sido informados de que el estudio de impacto ambiental del proyecto incluirá una caracterización del medio receptor de la salmuera, así como la justificación de que el vertido y su dilución en el medio marino, además de cumplir con la normativa, no produce afección ninguna. Por tanto, ya está prevista la justificación de la ausencia de perjuicios significativos en detrimento de los recursos marinos en el estudio de impacto ambiental.

Otra cuestión significativa del vertido de salmuera es su elevada concentración de nitratos (272 mg/L). Sin embargo, está prevista su dilución con el bombeo actualmente operativo de la Balsa del Sapo al mar. El agua de este bombeo presenta actualmente la misma concentración de nitratos que el agua de la Balsa del Sapo (64 mg/L) y, como resultado del proyecto, se elevará hasta un valor medio anual de 85 mg/L (con variación entre 64 mg/L en diciembre-enero y 271 mg/L en julio-agosto). Este incremento de la concentración no representa un incremento en la carga total de nitratos vertida al mar, que será aproximadamente la misma que se viene produciendo al disminuir el volumen del vertido. En cualquier caso, se trata de una concentración elevada, por lo que es un parámetro al que se debe prestar especial atención en el estudio de impacto ambiental previsto, donde se debe justificar que, además de cumplir con la normativa, no produce afección en el medio receptor y, por tanto, no resulta necesario someter a la salmuera a un proceso de desnitrificación previo al vertido.

En resumen, se puede concluir que la estación desalobradoradora incluida en esta actuación considera tecnologías adecuadas para cada uno de los procesos implicados, siendo la tecnología de desalación seleccionada (OI en dos etapas con membranas TFC de alta permeabilidad y aprovechamiento de la energía residual en el rechazo para su transporte hasta el mar) la mejor opción tecnológica disponible, ya que garantiza los consumos energéticos específicos más reducidos. La incorporación de una planta solar fotovoltaica favorece que proyecto se realice con el menor perjuicio posible sobre los objetivos de mitigación y adaptación al cambio climático. Respecto a la gestión y tratamiento de la salmuera, está prevista su dilución con el vertido actual de la Balsa del Sapo al mar, sin que se encuentre la solución definitiva totalmente definida y analizada. Esta dilución y proceso de vertido debe estudiarse con rigurosidad en el estudio de impacto ambiental previsto, donde se debe garantizar, además del cumplimiento de la normativa, la ausencia de perjuicios significativos en detrimento de los recursos marinos.

11.2. Proyecto de reconversión de la instalación de regeneración de aguas de la Comunidad de Regantes de Cuevas del Almanzora para el tratamiento con aporte de energía renovable por generación fotovoltaica y reacondicionamiento de red de distribución (Almería)

Comunidad de Regantes	Comunidad de Regantes Sindicato de Riegos de Cuevas del Almanzora
Provincia	Almería
Términos municipales afectados	Cuevas del Almanzora
Origen del agua	<ul style="list-style-type: none"> • Instalación de regeneración de aguas salinizadas de la comunidad de regantes. • Traslase Negratín. • Traslase Tajo-Segura. • Presa de Cuevas del Almanzora. • Desaladora del Bajo Almanzora.
Superficie total de la C.R.	5.400 ha
Superficie afectada por la actuación	5.400 ha
Infraestructuras necesarias	<ul style="list-style-type: none"> • Bastidores para agua hipersalina 10.000 m³/día con pre-tratamiento. • Planta solar fotovoltaica de 5MW. • Tubería de impulsión 500 DN PN16.
Presupuesto estimado de la actuación	21.062.543,44 € (IVA no incluido).
Descripción detallada de la actuación, objetivo y justificación	
<p>La Comunidad de Regantes Sindicato de Riegos de Cuevas del Almanzora no puede consumir la totalidad de la concesión de agua salobre que actualmente dispone debido al gran incremento de la salinidad del agua. Esta actuación permitirá instalar 2 nuevos bastidores de OI capaces de tratar aguas hipersalinas (5.000 m³/día cada bastidor). Éstos estarán dotados con sistemas de recuperación de energía (tipo ERI o similar con eficiencias de recuperación de hasta el 98%) al objeto de mejorar la eficiencia del sistema, aumentar el aprovechamiento y reducir el consumo energético del agua. Se instalará una planta solar fotovoltaica de 5 MWp tipo SI-Monocristalino que producirá un ahorro energético estimado de un 30% (7,25 MW·h/año), que redundará en una reducción muy importante en la emisión de CO₂ a la atmosfera, estimada en 3.463 Tm de CO₂. Adicionalmente, se construirá una nueva conducción de distribución de agua de diámetro 500 mm y timbraje PN16 hasta una cota inferior a la actual, que también redundará en ahorros energéticos significativos.</p> <p>Los datos técnicos de la actuación se muestran a continuación.</p>	
Datos generales	
Ubicación (municipio)	Cuevas del Almanzora
Nombre de la planta	Desaladora C.R. Cuevas del Almanzora
Año puesta en marcha	2003
Propietario	C.R. Cuevas del Almanzora
Operador actual	U.T.E. Desalación Cuevas del Almanzora



Descripción general de la actuación	<ul style="list-style-type: none">• Instalación de dos bastidores con una capacidad de producción total de 10.000 m³/día para el tratamiento de agua hipersalina La actuación incluye: <ul style="list-style-type: none">• Conexión de pozos de peor salinidad, agua hipersalina, con depósito de acumulación.• Depósito de acumulación de agua hipersalina.• Bombeo de alimentación a etapas de filtración multimedia.• Etapa de filtración de cartuchos y acondicionamiento químico de agua hipersalina.• Etapa de desalación por ósmosis inversa con dos líneas de producción de 5000 m³/día por bastidor compuestas por un bombeo de alta presión, sistema de recuperación de energía, bastidor de ósmosis inversa y sistema de limpieza química.• Instalación eléctrica, automatización y control.
Agua bruta	
Origen del agua	Pozos de aguas subterráneas
Conductividad eléctrica (dS/m)	35.000
Nitratos (mg/L)	100
Datos generales de diseño y explotación	
Capacidad de producción (m³/día)*	10.000
Producción máxima agua producto (hm³/año)*	3,3
Potencia total instalada (MW)	2,0
Consumo de energía específico (sin contar distribución) (kWh/m³)	2,2
Consumo de energía específico en distribución (kWh/m³)	0,5
Consumo de energía específico en ósmosis inversa (kWh/m³)	1,3
Tecnología de producción eléctrica o suministro eléctrico	Red eléctrica + Planta fotovoltaica de 5 MWp
Porcentaje de autoconsumo por generación propia de energía renovables (%)	47
*Producción en función del punto de destino. Los valores de producción máxima no son acumulables.	
Características tecnológicas de la planta	
Tipo y tecnología de captación de agua bruta	Bombas sumergibles para captación de aguas subterráneas

Tecnología/s de pretratamiento	Filtración multimedia + microfiltración
Tecnología de desalación y configuración (pasos/etapas)	Ósmosis inversa simple etapa
Factor de conversión total (% agua producto):	60-65
Tipo de membrana de OI	Membranas semipermeables enrolladas en espiral
Presión de trabajo en bastidores de OI (bar)	60
Tecnología de recuperación de energía en OI y eficiencia	Cámaras isobáricas de desplazamiento rotativo. Eficiencia hasta 98%
Tecnología de remineralización	-
Tecnología de desinfección	-

Características de la salmuera	
Tipo de tratamiento que se da a la salmuera y/o lugar de destino	Vertido a emisario submarino
Conductividad eléctrica (dS/m)**	75.000
Concentración de nitratos prevista (mg/L)**	300

Informe técnico sobre la actuación
<p>El proyecto actúa sobre la planta desalobradoradora de la Comunidad de Regantes Cuevas de Almanzora, que entró en operación en 2003, donde se propone instalar 2 nuevos bastidores de OI (5.000 m³/día cada bastidor) con la finalidad de aumentar el aprovechamiento actual, mejorando la eficiencia energética del sistema e incorporando una planta solar fotovoltaica que proporcione el 47% de la energía de la planta. Además, se incluye de forma complementaria una tubería de impulsión que permitirá reducir la altura manométrica del bombeo actual ya que reducirá el desnivel geométrico de la impulsión y, consecuentemente, producirá un ahorro energético significativo.</p> <p>La planta desalobradoradora de la Comunidad de Regantes Cuevas de Almanzora funciona actualmente a aproximadamente el 60% de su capacidad, debido al incremento de la salinidad en el agua bruta. Por tratarse de una planta construida en 2002, ya ha sido objeto de varias mejoras, como la ampliación de la tubería de impulsión (2016) y el aumento de su capacidad (2018), cuando se añadieron 3 nuevos bastidores.</p> <p>La captación de agua bruta se realiza mediante pozos (6 inicialmente, que fueron ampliados en 2018), proporcionando un agua pre-filtrada a la planta. El pre-tratamiento consiste en una filtración multimedia constituida por filtros de arena y filtros de cartucho, que garantiza tanto el tratamiento adecuado del agua bruta antes del proceso de OI como la protección de las membranas.</p> <p>La planta cuenta con 4 bastidores de OI (producción total de 20.000 m³/día) más tres bastidores añadidos en 2018 (producción adicional de 7.000 m³/día). Las instalaciones existentes ya cuentan</p>



con medidas de optimización energética, como la presencia de variadores de frecuencia en las bombas de alta presión y bombas de los pozos, o la instalación de *turbochargers* entre las dos etapas de ósmosis que se realizan. También se ha mejorado la conversión y calidad del agua osmotizada sustituyendo las membranas de la primera etapa de OI por membranas TFC de alta permeabilidad.

El post-tratamiento se realiza mediante la mezcla en destino con aguas procedentes de otras fuentes, lo que redonda en un coste específico más reducido del agua producto.

El vertido de la salmuera se realiza mediante una conducción subterránea hasta la rambla del río Almanzora, punto de vertido decidido en el Estudio de Impacto Ambiental por no existir especies sensibles a la variación de la salinidad en la zona.

Por tanto, se trata de una planta que a pesar de tener 20 años de vida se ha sometido a progresivas mejoras que permiten alcanzar un consumo específico en bastidores en torno a 1 $\text{kW}\cdot\text{h}/\text{m}^3$, valor reducido si consideramos que se tratan aguas de salinidad entre 10.000 y 35.000 dS/m .

La tecnología propuesta para los dos nuevos bastidores de desalobración consiste en una etapa de OI con un factor global de conversión del 60-65%, donde la recuperación de energía se realizará mediante cámaras isobáricas de desplazamiento rotativo (ERI), con una eficiencia del 98%. Esta configuración, junto al empleo de membranas TFC de alta permeabilidad, es la mejor tecnología disponible para proceso de ósmosis en aguas marinas o aguas salobres de alta salinidad, como las que se tratan en esta actuación. Como resultado se minimizará el consumo energético específico ($\text{kW}\cdot\text{h}/\text{m}^3$) y consecuentemente las emisiones de gases de efecto invernadero. La incorporación de una planta solar fotovoltaica capaz de satisfacer el 47% del consumo eléctrico representa una medida adaptativa que pretende que el proyecto se realice con el menor perjuicio posible sobre los objetivos de mitigación y adaptación al cambio climático.

La salmuera generada se verterá junto a la producida por los 8 bastidores restantes y la procedente de la desaladora de Codeur, con la que comparte el emisario submarino ubicado en la desembocadura del Río Almanzora. A día de hoy, el vertido de este emisario cumple la normativa vigente (Autorización de Vertido y Autorización Ambiental) de forma rigurosa, y la incorporación de la salmuera procedente de los 2 nuevos bastidores no implicará un cambio significativo en las condiciones de vertido, por lo que no se esperan dificultades para seguir cumpliendo la normativa ambiental tras llevar a cabo las actuaciones proyectadas. La concentración de nitratos en el rechazo de los nuevos bastidores es elevada (300 mg/L), pero está en consonancia con los datos reflejados en la Declaración Anual de Vertido del año 2021. En base a la Autorización de Vertido actual, están admitidos valores mensuales de hasta 350 mg/l de NO_3^- , siempre que mediante el oportuno control pueda justificarse que en el medio acuático afectado se alcanzan y mantienen permanentemente los objetivos de calidad. Para justificar este cumplimiento, se controla regularmente desde 2007 la evolución del parámetro nitrato en 8 puntos del medio receptor, siendo los valores registrados en la documentación aportada bajos y estables hasta la actualidad.



Por consiguiente, se puede concluir que la actuación sobre la estación desalobradora de la Comunidad de Regantes Cuevas del Almanzora consiste principalmente en la incorporación de bastidores adicionales para 10.000 m³/día, siendo la tecnología de desalación seleccionada (OI con membranas TFC de alta permeabilidad y recuperación de energía mediante cámaras isobáricas con desplazamiento rotativo) la mejor opción disponible. La incorporación de una planta solar fotovoltaica favorece que el proyecto se realice con el menor perjuicio posible sobre los objetivos de mitigación y adaptación al cambio climático. El resto de las instalaciones, ya disponibles, han operado con normalidad durante los últimos 20 años. El vertido del rechazo cuenta con Autorización de Vertido y Autorización Ambiental, así como con un programa de seguimiento de la calidad del agua en distintos puntos de control del medio receptor desde 2007, donde no se han registrado valores problemáticos.



11.3. Proyecto para la mejora de la calidad y del óptimo aprovechamiento de los recursos procedentes de aguas no convencionales y con incorporación de energías renovables en los regadíos de la comunidad general de riegos de levante, margen izquierda del Segura (Alicante)

Comunidad de Regantes	Comunidad General de Riegos de Levante, Margen Izquierda del Segura.
Provincia	Alicante
Términos municipales afectados	Alicante, Campello, Crevillente, Elche, Muchamiel, Orihuela, San Juan y Santa Pola (provincia Alicante).
Origen del agua	<ul style="list-style-type: none"> • EDAR de Rincón de León. • EDAR de Arenales del Sol. • Traspase Tajo-Segura • Río Segura.
Superficie total de la C.R.	23.000 ha
Superficie afectada por la actuación	23.000 ha
Infraestructuras necesarias	<ul style="list-style-type: none"> • Planta solar fotovoltaica para el suministro de la planta regeneradora de agua de riego e instalaciones complementarias. • Planta solar fotovoltaica para sustitución de energía convencional en las elevaciones del Hondo a Crevillente. • Plantas aisladas para sustitución de energía convencional en elevaciones aisladas. • Balsa de 200.000 m³ de capacidad. • Implementación de un sistema de telecontrol y telemando. • Planta desalobradoradora con capacidad = 15 hm³/año. (captación, explanaciones, urbanización, instalaciones de proceso, instalaciones eléctricas, automatización y telecontrol).
Presupuesto estimado de la actuación	37.625.230,00 € (IVA no incluido).
Descripción detallada de la actuación, objetivo y justificación	
<p>El objeto principal de esta actuación es mejorar la calidad del agua con altos contenidos de conductividad (> 3.500 µS/cm) y altos contenidos en nutrientes, mediante la ejecución de una planta regeneradora de agua de riego con una capacidad de producción de hasta 15 hm³/año.</p> <p>La construcción de una balsa de 200.000 m³ de capacidad permitirá maximizar el uso de la reutilización de aguas depuradas procedentes de la EDAR de Rincón de León y la EDAR de Arenales del Sol, mediante su capacidad de regulación. Además, se facilitará la mezcla de recursos hídricos de diversas procedencias que emplea la Comunidad de Regantes. Otros objetivos de la actuación son: el aumento de la eficiencia hídrica mediante la impermeabilización del canal principal de la comunidad de regantes, la mejora de la gestión del riego a través de sistemas de telecontrol y telemando, y la aportación a la transición energética mediante empleo de energías renovables.</p> <p>Esta actuación se enmarca en los siguientes objetivos medioambientales: (i) la adaptación al cambio climático, (ii) la mitigación del cambio climático, (iii) uso sostenible y protección de los recursos hídricos, (iv) transición hacia una economía circular, (v) prevención y control de la contaminación y</p>	



(vi) protección y recuperación de la biodiversidad y de los ecosistemas.

Los datos técnicos de la actuación se muestran a continuación.

Datos generales	
Ubicación (municipio)	Crevillente
Descripción general de la actuación	Construcción de una planta regeneradora de agua de riego mediante diferentes tecnologías tales como decantación, filtración a presión mediante lecho activado, microfiltración y ósmosis inversa con incorporación de energías renovables. Para una producción de agua permeada mínima de 16,2 hm ³ /año con una conductividad inferior a 300 µS/cm.
Agua bruta	
Origen del agua	Rio Segura y Azarbes
Conductividad eléctrica (dS/m)	3,731 valor promedio 6,600 valor máximo
Nitratos (mg/L)	64
Datos generales de diseño y explotación	
Capacidad de producción (m ³ /día)*	<ul style="list-style-type: none">• 48.622 de agua permeada.• 70.231 de agua de blending para envío a Crevillente.• 126.416,16 de agua de blending para Riego superficial.
Producción máxima agua producto (hm ³ /año)*	<ul style="list-style-type: none">• 16,3 de agua permeada.• 23,5 de agua de blending para envío a Crevillente.• 42,3 de agua de blending para Riego superficial.
Potencia total instalada (MW)	3,9
Consumo de energía específico (sin contar distribución) (kWh/m ³)	0,709
Consumo de energía específico en distribución (kWh/m ³)	0,253 envío a Crevillente
Consumo de energía específico en ósmosis inversa (kWh/m ³)	0,413
Tecnología de producción eléctrica o suministro eléctrico	Conexión a red y



	fotovoltaica.
Porcentaje de autoconsumo por generación propia de energía renovables (%).	46,3%

*Producción en función del punto de destino. Los valores de producción máxima no son acumulables.

Características tecnológicas de la planta	
Tipo y tecnología de captación de agua bruta	Bombeo desde cámara de rotura de instalación existente.
Tecnología/s de pretratamiento	Sistema de decantación/flotación de agua salobre, filtración a presión mediante lecho activado y microfiltración.
Tecnología de desalación y configuración (pasos/etapas)	Ósmosis inversa con dos pasos para optimización del proceso y recuperación de la presión residual de la salmuera.
Factor de conversión total (% agua producto):	75%
Tipo de membrana de OI	Membranas spiral-wound, TFC (Thin Film Composite)
Presión de trabajo en bastidores de OI (bar)	14,1
Tecnología de recuperación de energía en OI y eficiencia	Turbocharger, 65%
Tecnología de remineralización	Ajuste de pH y blending con agua bruta o pretratada.
Tecnología de desinfección	Dosificación con hipoclorito.

Características de la salmuera	
Tipo de tratamiento que se da a la salmuera y/o lugar de destino	Desnitrificación mediante reactores anaerobios de esponja de flujo ascendente. Vertido de salmuera al Mar Mediterráneo a través de la desembocadura del río Vinalopó.
Conductividad eléctrica (dS/m)**	28,620
Concentración de nitratos prevista (mg/L)**	17,96 (Un 10% del valor de salida de la ósmosis inversa, tras su paso por el desnitrificador).

*Valores máximos, en función de la calidad del agua.



Informe técnico sobre la actuación

La principal actuación recogida en el proyecto es la construcción de una nueva planta desalobradoradora mediante OI (mejor tecnología operativa disponible), con una capacidad de 48.622 m³/día (16,3 hm³/año). También se incluyen una serie de actuaciones complementarias (balsa, impermeabilización del canal principal, sistemas de telecontrol y telemando) que mejoran la capacidad de gestión y la eficiencia hídrica de la Comunidad General de Riegos de Levante, Margen Izquierda del Segura. Además, se incluyen diversas plantas solares fotovoltaicas para el abastecimiento de la nueva planta desalobradoradora y para sustituir el suministro eléctrico convencional en otras elevaciones ya existentes.

En la planta desalobradoradora, se propone una captación de agua bruta abierta, mediante una cámara de rotura ubicada en una instalación ya existente. Se trata de una solución adaptada a la fuente de agua superficial disponible y a las instalaciones de toma de agua ya existentes en la comunidad de regantes. Por tanto, se considera una buena solución por su adaptación a la singularidad del proyecto, pero debe tenerse en cuenta en el diseño del pre-tratamiento que, por tratarse de una toma abierta de agua de origen superficial, puede presentar un contenido importante de material orgánico y mineral.

El pre-tratamiento consiste en un primer sistema para el desbaste, tamizado, decantación y clarificación del agua bruta, que se considera adecuado al tratarse de agua procedente de una captación abierta superficial. A continuación, se proyecta un sistema de filtración multimedia constituido por lechos de arena activados y filtros de cartucho, que garantiza tanto el tratamiento adecuado del agua bruta antes del proceso de OI como la protección de las membranas.

La tecnología propuesta para la desalobración consiste en dos etapas de OI con un factor global de conversión del 75%, y donde la energía residual del rechazo de la segunda etapa es recuperada mediante *turbochargers* para incrementar la presión de entrada a la segunda etapa. Esta configuración tecnológica, junto al empleo de membranas TFC de alta permeabilidad, es una de las mejores tecnologías disponibles para este tipo de instalación. El factor de conversión en la OI (75%) y la eficiencia propuesta para los *turbochargers* (65%) se consideran conservadores, teniendo en cuenta la baja salinidad del agua bruta (3,7 dS/m) y los rendimientos actualmente considerados en distintos catálogos de *turbochargers* (hasta 80%) para presiones en bastidores de OI del mismo orden a las recogidas en el proyecto (14,1 bar).

Para el post-tratamiento se propone la mezcla con otras fuentes de aguas disponibles en la comunidad de regantes. La estrategia de mezcla de aguas (*blending*) redundará en un coste específico más reducido del agua producto, solución que se considera idónea siempre que haya un correcto control del porcentaje de mezcla en función de las características del agua osmotizada y el agua disponible de otras fuentes. Según la documentación aportada, el nivel de boro previsto en el agua producto es el mismo que en el agua bruta (0,71 a 0,74 mg/L en los puntos de toma), concentración que se considera elevada al tratarse de una zona regable con abundante presencia de cítricos, cultivo sensible a concentraciones de boro en el agua de riego superiores a 0,5 mg/L. Sin embargo, el agua que se envía a Crevillente se diluirá al menos al 50% con agua de otros orígenes y escasa concentración de boro (< 0,1 mg/L), resultando en valores de concentración de



boro $\leq 0,37$ mg/L, que no deberían generar problema por fitotoxicidad en cítricos. En el caso del agua destinada a los sistemas de riego tradicional (superficial) no está previsto mezclarla con otras fuentes, por lo que se aplicará a los cultivos con una concentración media entre 0,71 - 0,74 mg/L. En este último caso, se recomienda evitar el riego de cítricos si no es posible mezclarla con otras aguas con menor concentración de boro a escala de parcela, a no ser que se implementen sistemas específicos para reducir la concentración de boro en el agua de riego (p. ej. tratamientos en parcela con membranas o resinas de intercambio iónico).

Para la gestión y tratamiento de la salmuera se plantea la desnitrificación mediante reactores anaerobios de esponja de flujo ascendente, y el vertido de salmuera al Mar Mediterráneo a través de la desembocadura del río Vinalopó. Está previsto que el proceso de desnitrificación disminuya el contenido de nitratos en la salmuera en un 90% (de 179,6 mg/L a 18 mg/L), alcanzando un valor similar al del medio receptor (desembocadura del Vinalopó, azarbes de Dalt, Dulce y Ancha), que presentan actualmente un valor medio de contenido de nitratos de 18,8 mg/L. Esta tecnología es propia del tratamiento de aguas residuales domésticas, sin que se hayan encontrado referencias sobre su utilización para la desnitrificación de salmueras. Dado que la capacidad de tratamiento de los reactores anaerobios está condicionada por la cantidad de biomasa activa que haya en el sistema, y la salmuera carece complementate de esta biomasa, se recomienda incorporar documentación técnica que avale la viabilidad de la desnitrificación de salmueras mediante esta tecnología.

Respecto a la estrategia de vertido de la salmuera al mar es satisfactoria siempre que su implementación garantice que no se causa un perjuicio significativo en el estado de conservación de los hábitats receptores. Esta cuestión debe ser estudiada en el estudio de impacto ambiental del proyecto, que debe incluir una caracterización del medio receptor de la salmuera, así como la justificación de que el vertido a través de los azarbes y su dilución en el medio marino, además de cumplir con la normativa, no produce perjuicios significativos en detrimento de los recursos marinos, de forma que sea viable la obtención de las Autorizaciones de Vertido y Ambiental.

En resumen, se puede concluir que la estación desalobradora incluida en esta actuación considera tecnologías adecuadas para cada uno de los procesos implicados, siendo la tecnología de desalación seleccionada (OI en dos etapas con membranas TFC de alta permeabilidad y recuperación de energía mediante *turbocharger*) las mejor opción disponible, ya que garantiza los consumos energéticos específicos más reducidos. El nivel de boro en el agua producto es elevado para cultivos sensibles, como es el caso de los cítricos y, en función del nivel de mezcla con otras aguas, podría requerir un post-tratamiento específico para reducir su concentración y evitar problemas de fitotoxicidad en cítricos. Esta es una cuestión relevante a considerar por parte de los usuarios finales. Se considera adecuada la incorporación de un proceso de desnitrificación previa al vertido de la salmuera, pero se recomienda incorporar documentación técnica que avale la viabilidad de la desnitrificación de salmueras mediante la tecnología propuesta. El proceso de vertido al mar a través de azarbes debe estudiarse con rigurosidad en el estudio de impacto ambiental, donde se debe garantizar, además del cumplimiento de la normativa, la ausencia de perjuicios significativos en detrimento de los recursos marinos.

11.4. Proyecto de balsa general de regulación en la comunidad de usuarios de aguas de la comarca de Níjar, en el paraje del Jabonero. T.M. de Níjar (Almería)

Comunidad de Regantes	Comunidad de Usuarios de Aguas de la Comarca de Níjar (CUCN)
Provincia	Almería
Términos municipales afectados	Níjar, Lucainena de las Torres, Sorbas, Almería y Carboneras
Origen del agua	EDAM de Carboneras (Almería)
Superficie total de la C.R.	10.100 ha
Superficie afectada por la actuación	10.100 ha
Infraestructuras necesarias	<ul style="list-style-type: none"> • Balsa de regulación de 973.000 m³. • Conducciones de conexión a balsa FD Longitud 1950 m. • Conducción para cierre y mallado del ramal Los Granainos, longitud 3.100m. • 4 arquetas de maniobra y control. • 3 Plantas de generación de energía solar fotovoltaica para mejorar el balance energético de la red. • Red de piezómetros y nuevas tecnologías de seguimiento y control del acuífero del Campo de Níjar.
Presupuesto estimado de la actuación	6.890.000 € (IVA no incluido).
Descripción detallada de la actuación, objetivo y justificación	
<p>Los producciones de los agricultores pertenecientes a la Comunidad de Usuarios de Aguas de la Comarca de Níjar (CUCN) se encuentran limitadas si no existe un acopio mayor desde la EDAM de Carboneras. Actualmente, se está produciendo un desajuste importante entre la producción por parte de la EDAM a lo largo del año y los consumos estacionales en la agricultura, que conllevan a restricciones en el suministro por falta de capacidad de las balsas de regulación existentes que no permite acumular el agua producida por la desaladora en épocas cuando la agricultura no la consume. En este contexto, los agricultores suplen la falta de agua desde la EDAM mediante la extracción del agua del acuífero. La actuación prevé la construcción de una balsa que permitirá incrementar el suministro de agua desalada hasta los 26 hm³/año (el consumo actual desde EDAM es de 18-20 hm³/año). Esta actuación redundará por lo tanto en una menor extracción de agua desde el acuífero.</p> <p>Esta actuación se enmarca en los siguientes objetivos medioambientales: (i) la adaptación al cambio climático, (ii) la mitigación del cambio climático, (iii) uso sostenible y protección de los recursos hídricos, (iv) transición hacia una economía circular, (v) prevención y control de la contaminación y (vi) protección y recuperación de la biodiversidad y de los ecosistemas.</p>	
Informe técnico sobre la actuación	
<p>La principal actuación del proyecto consiste en la construcción de una balsa de gran capacidad (973.000 m³) para regular el suministro de agua desalada de la EDAM de Carboneras, lo que permitirá incrementar el consumo de agua desalada hasta el límite de la concesión (26 hm³/año, frente al consumo actual de 18-20 hm³/año). El incremento del consumo de agua desalada dará</p>	



lugar a una reducción equivalente de la extracción de agua desde el acuífero. El proyecto incluye otras actuaciones complementarias para la explotación de la nueva balsa, como conducciones y arquetas de maniobra y control. También, se incluye la instalación de tres plantas solares fotovoltaicas para sustituir el suministro eléctrico convencional en dos elevaciones ya existentes en la red de riego de la comunidad de regantes. Finalmente, se incluye un sistema de monitorización del acuífero mediante una red de piezómetros y nuevas tecnologías para el seguimiento y control, que permitirá contrastar el efecto favorable de la actuación sobre las aguas subterráneas.

La EDAM de Carboneras se puso en servicio en agosto de 2005. Es una planta desaladora de agua de mar con capacidad de producción de 42 hm³/año, destinados al abastecimiento del Levante almeriense y al riego del Campo de Níjar (actualmente entre 18-20 hm³/año).

Para la captación del agua bruta, la EDAM cuenta con una toma abierta ubicada fuera del puerto de la Central Térmica de ENDESA reformada en 2010 y ubicada a una profundidad de -35 m.

En el pre-tratamiento, el agua de mar recibe un tratamiento fisicoquímico al objeto de satisfacer los requisitos de funcionamiento de las membranas de OI. El tratamiento y la dosificación son variables en función de las características que en cada momento presente el agua. El pretratamiento físico consiste en una filtración multimedia mediante enrejado, canales desarenadores, filtración a presión sobre lecho de sílice y microfiltración.

La EDAM cuenta con dos etapas de OI con capacidad de producción de 120.000 m³/día. Entre 2016 y 2017 se sustituyeron todas las turbinas de recuperación Pelton por cámaras isobáricas tipo ERI, a fin de mejorar la eficiencia energética de la instalación. Tras esta modernización los consumos energéticos específicos en los bastidores de OI se sitúan en 2,1 kW·h/m³. Previo a la distribución, se realiza el post-tratamiento de remineralización mediante inyección directa de CO₂ y lechada de cal.

En 2020 el consumo energético del Carboneras fue de 198 MW·h, con un consumo específico medio de 4,8 kWh/m³ (incluye producción y distribución de agua desalada).

La salmuera generada en el proceso de desalación está compuesta por sales minerales del agua de mar, aditivos incorporados durante el proceso productivo, y detergentes provenientes del lavado de las membranas con detergentes de componentes biodegradables, produciéndose un volumen de agua de lavado de 40 m³ que se diluye, junto al efluente de la salmuera, en el caudal de desagüe de la Central Térmica. La EDAM cuenta como medida correctora con un sistema separativo de los distintos efluentes producidos, eliminando los detergentes y espumas de las aguas procedentes del lavado de membranas antes de su mezcla con el efluente de la salmuera.

De acuerdo a *RESOLUCIÓN de 17 de diciembre de 1999, de la Secretaría General de Medio Ambiente, sobre la evaluación de impacto ambiental de la Planta Desaladora de Agua de Mar de Carboneras, Almería, promovida por la «Sociedad Estatal Aguas de la Cuenca del Sur, Sociedad Anónima»*, esta EDAM no se localiza en ningún espacio protegido por la Ley 2/1989, de 13 de julio, por la que se aprueba el Inventario de Espacios Naturales Protegidos de Andalucía y se establecen medidas adicionales de protección. Así mismo, la zona de ubicación de las infraestructuras para la



toma de agua y punto de vertido de efluentes (salmuera) de la EDAM no pertenece a las Reservas Marinas reguladas en el Plan de Ordenación de Recursos Naturales del Parque Natural de Cabo de Gata-Níjar, ni se encuentra en los fondos marinos de los espacios propuestos por la Comunidad Autónoma de Andalucía como Lugares de Interés Comunitario marinos de Sierra de Cabo de Gata y de Playa de Carboneras. Según Resolución, la evacuación de la salmuera de la EDAM, a razón de un caudal continuo de 6.056 m³/h, con una salinidad de 70 g/L, se realiza al mar a través del canal de desagüe en lámina libre de las aguas de refrigeración en la cara norte del espigón del muelle de la Central Térmica de ENDESA. La proporción de mezcla entre el volumen procedente de la Central Térmica y el procedente de la EDAM es, respectivamente, de 1.000 hm³/año y 53 hm³/año.

Las aguas del tramo litoral donde se localiza el punto de vertido están clasificadas en la categoría de aguas normales. Los valores de los parámetros a los que se refiere esta clasificación sobre los que puede incidir el vertido, referidos a la media aritmética de los resultados a obtener en el Plan de Vigilancia y Control durante un año son: salinidad de 0,9 a 1,1 de la media normal del parámetro en la zona no afectada por el vertido; pH entre 6 y 9; Nitratos 1.000 µg/L; detergentes 200 µg/ L; Fluoruros 1,7 mg/L; Fósforo total 600 µg/ L. En el entorno del punto de vertido, las aguas están clasificadas en la categoría de aguas especiales, cuyos requisitos de calidad son más restrictivos que para las aguas normales debido a la presencia del Parque Natural Marítimo-Terrestre del Cabo de Gata. Los parámetros establecidos para las aguas especiales, en las mismas condiciones del caso anterior, son: salinidad de 0,9 a 1,1 de la media normal del parámetro en la zona no afectada por el vertido; pH entre 7 y 9; Nitratos 700 µg/ L; detergentes 100 µg/ L; Fluoruros 1,7 µg/ L; Fósforo total 600 µg/ L. El promotor documenta que la solución elegida, de acuerdo con los estudios y análisis realizados en relación al sistema de evacuación de efluentes de la EDAM y localización del punto de vertido, no tiene repercusiones en las praderas de fanerógamas representadas por «Cymodocea nodosa», como especie picolonizadora, y «Posidonia oceánica», especie que forma biotopos de gran valor ecológico, considerados como hábitat prioritario de acuerdo con la Directiva 43/92/CEE.

El modelo aplicado para el análisis de la difusión y dispersión de la salmuera en el medio marino en el punto de descarga fue desarrollado en el Departamento de Oceanografía y Biología Marina del Grupo AZTI (Instituto Oceanográfico del País Vasco). Los resultados del modelo determinan las conclusiones siguientes: para una salinidad de 38,5 g/L en el agua de refrigeración de la Central Térmica, e igual salinidad en el medio marino receptor, y una salinidad de 70 g/L en el agua de la salmuera, la mezcla, antes de su vertido al mar, tendrá una salinidad de 39,7 g/L; por lo que el incremento medio de la salinidad será 1,2 g/L en el punto de vertido, que está dentro del rango del 10 por 100 de variabilidad que permiten los objetivos de calidad de las aguas normales. La simulación numérica de la dispersión de la mezcla en función de la distancia al foco indica que a 1 kilómetro de distancia el aumento de la salinidad es inferior a 0,05 g/L, lo que está dentro del rango de variación estacional de la salinidad de la zona, no existiendo por tanto riesgo de afección a las biocenosis marinas del entorno derivado del aumento de salinidad de los vertidos.

Puesto que para garantizar la protección ambiental de los ámbitos afectados por la ejecución del proyecto se contemplan todas medidas de corrección y Programa de Vigilancia Ambiental adecuados, elaborados por el promotor y, por tanto, no se aprecian potenciales impactos adversos



significativos sobre el medio ambiente, la Secretaría General de Medio Ambiente resolvió que es innecesario someter a procedimiento reglado de evaluación de impacto ambiental el proyecto de Planta Desaladora de Agua de Mar de Carboneras.

En resumen, las tecnologías actualmente implementadas en la EDAM de Carboneras se encuentran entre las mejores tecnologías disponibles en cada una de las etapas del proceso. La EDAM utiliza actualmente la tecnología de OI con membranas TFC de alta permeabilidad, con sistemas de recuperación de energía mediante cámaras isobáricas de desplazamiento rotativo (ERI), con una eficiencia del 98%, que es la mejor tecnología operativa disponible actualmente para la desalación de agua de mar. Como resultado, se obtiene un consumo energético específico en los bastidores de $2,1 \text{ kW}\cdot\text{h}/\text{m}^3$, valor muy reducido que se asocia a unas emisiones de gases de efecto invernadero igualmente reducidas. La construcción de la balsa de 973.000 m^3 y actuaciones complementarias (conducciones, arquetas, etc.) permitirán a la Comunidad de Usuarios de Aguas de la Comarca de Níjar incrementar el uso de agua desalada en aproximadamente $6 - 8 \text{ hm}^3$, reduciendo significativamente la explotación del acuífero. Finalmente, la incorporación de las tres plantas solares fotovoltaicas para alimentar impulsiones ya existentes favorece que proyecto se realice con el menor perjuicio posible sobre los objetivos de mitigación y adaptación al cambio climático.

Efecto de la actuación sobre la vida útil o la capacidad de la EDAM

Esta actuación permitirá un mejor aprovechamiento del agua producida en la EDAM de Carboneras, favoreciendo la reducción de la extracción de $6 - 8 \text{ hm}^3/\text{año}$ desde el acuífero. Las infraestructuras proyectadas asociadas al mejor aprovechamiento del agua de la EDAM no supondrán un incremento de la vida útil de la planta ni de ninguno de los elementos fundamentales para la producción de agua marina desalinizada. Las actuaciones no incrementarán la capacidad productiva de la planta ni conllevan la solicitud de concesiones adicionales.

11.5. Proyecto de distribución de agua con bombeos fotovoltaicos en Palomares para la junta central de usuarios de aguas del valle del Almanzora. Comunidades de regantes del bajo Almanzora, Vera, S.A.T. Nº 2.503 de Antas y S.A.T. Agrolujo (Almería)

Comunidad de Regantes	<ul style="list-style-type: none"> • Junta Central de Usuarios de Aguas del Valle del Almanzora (JCUAVA). • Comunidad de Regantes del Bajo Almanzora. • Comunidad de Regantes de Vera. • S.A.T. nº 2.503 de Antas. • S.A.T. Agrolujo.
Provincia	Almería
Términos municipales afectados	Cuevas del Almanzora, Vera y Antas
Origen del agua	EDAM de Carboneras (Almería)
Superficie total de la C.R.	34.078 ha
Superficie afectada por la actuación	4.429 ha
Infraestructuras necesarias	<ul style="list-style-type: none"> • Estación de bombeo (EB1) alimentada desde planta fotovoltaica para bombear agua desalada a EB2. • Estación de bombeo EB2 de 1546 kW. • Estación de bombeo EB3 de 300 kW. • Planta fotovoltaica de 2500 kWp para suministro al bombeo principal EB2 y bombeo de agua desalada EB1. • Planta fotovoltaica de 500 kWp para suministro al bombeo EB3. • Conducciones desde fuentes de agua hasta la EB1 o EB2. • Conducción entre EB1 y EB2. • Conducción 18 km entre EB2 y balsa existente. • Tomas de entrega de caudales a usuarios. • Telecontrol.
Presupuesto estimado de la actuación	9.099.039,06 € (IVA no incluido).
Descripción detallada de la actuación, objetivo y justificación	
<p>El agua desalada que reciben estas comunidades de regantes desde la desaladora de Carboneras (3,36 hm³/año) se eleva actualmente con energía suministrada por la red a una a mayor cota de la necesaria al no disponer de una conducción de distribución adecuada. Esto conlleva asociado un consumo energético de 3.897.600 kW·h/año. Esta actuación propone construir una nueva red de distribución del agua desalada telecontrolada, tres estaciones de bombeo y conducciones, utilizando energía fotovoltaica para el bombeo.</p> <p>La estación de bombeo (EB1), situada en la margen derecha del río Almanzora a cota 8 metros, conectará, por medio de una tubería de DN-600 mm de fundición dúctil y DN-630 mm de PVC orientado, el agua producida en la EDAM con la conducción de salida del embalse de Cuevas de Almanzora. Este bombeo EB1 funcionará durante 1.710 horas útiles por medio de la planta fotovoltaica de 2500 kWp y conducirá un caudal de 556 l/s a una presión de 215 m.c.a., con una potencia de bombeo de 1.380 kW. Para almacenar esta agua se construirá un embalse de 100.000 m³ de capacidad situado en cota 170 metros, desde el cual se distribuirá el agua a las zonas regables mediante EB2, con una potencia de bombeo de 1546 kW (suministrada por la planta fotovoltaica de 2500 kWp), y EB3, con una potencia de bombeo de 300 kW (suministrada por la planta fotovoltaica</p>	



de 500 kWp). La planta fotovoltaica se ubicará a 700 metros de la estación de bombeo y se instalará la línea aérea de evacuación para suministro eléctrico a la estación de bombeo.

En resumen, las principales actuaciones son:

- Estación de bombeo EB1 alimentada desde FV1 para bombear agua desalada a EB2.
- Estación de bombeo EB2 de 1546 kW.
- Estación de bombeo EB3 de 300 kW.
- Planta fotovoltaica de 2500 kWp para suministro al bombeo principal EB2 y bombeo de agua desalada EB1.
- Planta fotovoltaica de 500 kWp para suministro al bombeo EB3.
- Conducciones desde fuentes de agua hasta la EB1 o EB2.
- Conducción entre EB1 y EB2.
- Conducción 18 km entre EB2 y balsa existente.
- Tomas de entrega de caudales a usuarios.
- Telecontrol.

Esta actuación se enmarca en los siguientes objetivos medioambientales: (i) la adaptación al cambio climático, (ii) la mitigación del cambio climático, (iii) uso sostenible y protección de los recursos hídricos, (iv) transición hacia una economía circular, (v) prevención y control de la contaminación y (vi) protección y recuperación de la biodiversidad y de los ecosistemas.

Informe técnico sobre la actuación

Esta actuación propone construir una nueva red de distribución del agua desalada que se recibe en el T.M. de Palomares desde la EDAM de Carboneras. El sistema de distribución estará formado por tres estaciones de bombeo, conducciones, tomas de entrega a usuarios y un sistema de adquisición de datos y telecontrol. Esta nueva red representará una notable mejora con respecto al manejo actual del agua proveniente de la EDAM de Carboneras, ya que (1) su trazado reduce sensiblemente el desnivel geométrico de las instalaciones actualmente disponibles, que elevan el agua a mayor cota de la necesaria, y (2) el suministro de energía en los bombeos será de origen fotovoltaico. Como consecuencia, el nivel de emisiones de gases de efecto invernadero actual se verá notablemente reducido.

La EDAM de Carboneras se puso en servicio en agosto de 2005. Es una planta desaladora de agua de mar con capacidad de producción de 42 hm³/año, destinados al abastecimiento del Levante almeriense y al riego del Campo de Níjar (actualmente entre 18-20 hm³/año).

Para la captación del agua bruta, la EDAM cuenta con una toma abierta ubicada fuera del puerto de la Central Térmica de ENDESA reformada en 2010 y ubicada a una profundidad de -35 m.

En el pre-tratamiento, el agua de mar recibe un tratamiento fisicoquímico al objeto de satisfacer los requisitos de funcionamiento de las membranas de OI. El tratamiento y la dosificación son variables en función de las características que en cada momento presente el agua. El pretratamiento físico consiste en una filtración multimedia mediante enrejado, canales desarenadores, filtración a presión sobre lecho de sílice y microfiltración.

La EDAM cuenta con dos etapas de OI con capacidad de producción de 120.000 m³/día. Entre 2016 y 2017 se sustituyeron todas las turbinas de recuperación Pelton por cámaras isobáricas tipo ERI, a fin de mejorar la eficiencia energética de la instalación. Tras esta modernización los consumos



energéticos específicos en los bastidores de OI se sitúan en $2,1 \text{ kW}\cdot\text{h}/\text{m}^3$. Previo a la distribución, se realiza el post-tratamiento de remineralización mediante inyección directa de CO_2 y lechada de cal.

En 2020 el consumo energético del Carboneras fue de $198 \text{ MW}\cdot\text{h}$, con un consumo específico medio de $4,8 \text{ kWh}/\text{m}^3$ (incluye producción y distribución de agua desalada).

La salmuera generada en el proceso de desalación está compuesta por sales minerales del agua de mar, aditivos incorporados durante el proceso productivo, y detergentes provenientes del lavado de las membranas con detergentes de componentes biodegradables, produciéndose un volumen de agua de lavado de 40 m^3 que se diluye, junto al efluente de la salmuera, en el caudal de desagüe de la Central Térmica. La EDAM cuenta como medida correctora con un sistema separativo de los distintos efluentes producidos, eliminando los detergentes y espumas de las aguas procedentes del lavado de membranas antes de su mezcla con el efluente de la salmuera.

De acuerdo a *RESOLUCIÓN de 17 de diciembre de 1999, de la Secretaría General de Medio Ambiente, sobre la evaluación de impacto ambiental de la Planta Desaladora de Agua de Mar de Carboneras, Almería, promovida por la «Sociedad Estatal Aguas de la Cuenca del Sur, Sociedad Anónima»*, esta EDAM no se localiza en ningún espacio protegido por la Ley 2/1989, de 13 de julio, por la que se aprueba el Inventario de Espacios Naturales Protegidos de Andalucía y se establecen medidas adicionales de protección. Así mismo, la zona de ubicación de las infraestructuras para la toma de agua y punto de vertido de efluentes (salmuera) de la EDAM no pertenece a las Reservas Marinas reguladas en el Plan de Ordenación de Recursos Naturales del Parque Natural de Cabo de Gata-Níjar, ni se encuentra en los fondos marinos de los espacios propuestos por la Comunidad Autónoma de Andalucía como Lugares de Interés Comunitario marinos de Sierra de Cabo de Gata y de Playa de Carboneras. Según Resolución, la evacuación de la salmuera de la EDAM, a razón de un caudal continuo de $6.056 \text{ m}^3/\text{h}$, con una salinidad de $70 \text{ g}/\text{L}$, se realiza al mar a través del canal de desagüe en lámina libre de las aguas de refrigeración en la cara norte del espigón del muelle de la Central Térmica de ENDESA. La proporción de mezcla entre el volumen procedente de la Central Térmica y el procedente de la EDAM es, respectivamente, de $1.000 \text{ hm}^3/\text{año}$ y $53 \text{ hm}^3/\text{año}$.

Las aguas del tramo litoral donde se localiza el punto de vertido están clasificadas en la categoría de aguas normales. Los valores de los parámetros a los que se refiere esta clasificación sobre los que puede incidir el vertido, referidos a la media aritmética de los resultados a obtener en el Plan de Vigilancia y Control durante un año son: salinidad de 0,9 a 1,1 de la media normal del parámetro en la zona no afectada por el vertido; pH entre 6 y 9; Nitratos $1.000 \text{ }\mu\text{g}/\text{L}$; detergentes $200 \text{ }\mu\text{g}/\text{L}$; Fluoruros $1,7 \text{ mg}/\text{L}$; Fósforo total $600 \text{ }\mu\text{g}/\text{L}$. En el entorno del punto de vertido, las aguas están clasificadas en la categoría de aguas especiales, cuyos requisitos de calidad son más restrictivos que para las aguas normales debido a la presencia del Parque Natural Marítimo-Terrestre del Cabo de Gata. Los parámetros establecidos para las aguas especiales, en las mismas condiciones del caso anterior, son: salinidad de 0,9 a 1,1 de la media normal del parámetro en la zona no afectada por el vertido; pH entre 7 y 9; Nitratos $700 \text{ }\mu\text{g}/\text{L}$; detergentes $100 \text{ }\mu\text{g}/\text{L}$; Fluoruros $1,7 \text{ }\mu\text{g}/\text{L}$; Fósforo total $600 \text{ }\mu\text{g}/\text{L}$. El promotor documenta que la solución elegida, de acuerdo con los estudios y análisis realizados en relación al sistema de evacuación de efluentes de la EDAM y localización del punto de vertido, no tiene repercusiones en las praderas de



fanerógamas representadas por «Cymodocea nodosa», como especie picolonizadora, y «Posidonia oceánica», especie que forma biotopos de gran valor ecológico, considerados como hábitat prioritario de acuerdo con la Directiva 43/92/CEE.

El modelo aplicado para el análisis de la difusión y dispersión de la salmuera en el medio marino en el punto de descarga fue desarrollado en el Departamento de Oceanografía y Biología Marina del Grupo AZTI (Instituto Oceanográfico del País Vasco). Los resultados del modelo determinan las conclusiones siguientes: para una salinidad de 38,5 g/L en el agua de refrigeración de la Central Térmica, e igual salinidad en el medio marino receptor, y una salinidad de 70 g/L en el agua de la salmuera, la mezcla, antes de su vertido al mar, tendrá una salinidad de 39,7 g/L; por lo que el incremento medio de la salinidad será 1,2 g/L en el punto de vertido, que está dentro del rango del 10 por 100 de variabilidad que permiten los objetivos de calidad de las aguas normales. La simulación numérica de la dispersión de la mezcla en función de la distancia al foco indica que a 1 kilómetro de distancia el aumento de la salinidad es inferior a 0,05 g/L, lo que está dentro del rango de variación estacional de la salinidad de la zona, no existiendo por tanto riesgo de afección a las biocenosis marinas del entorno derivado del aumento de salinidad de los vertidos.

Puesto que para garantizar la protección ambiental de los ámbitos afectados por la ejecución del proyecto se contemplan todas medidas de corrección y Programa de Vigilancia Ambiental adecuados, elaborados por el promotor y, por tanto, no se aprecian potenciales impactos adversos significativos sobre el medio ambiente, la Secretaría General de Medio Ambiente resolvió que es innecesario someter a procedimiento reglado de evaluación de impacto ambiental el proyecto de Planta Desaladora de Agua de Mar de Carboneras.

En resumen, las tecnologías actualmente implementadas en la EDAM de Carboneras se encuentran entre las mejores tecnologías disponibles en cada una de las etapas del proceso. La EDAM utiliza actualmente la tecnología de OI con membranas TFC de alta permeabilidad, con sistemas de recuperación de energía mediante cámaras isobáricas de desplazamiento rotativo (ERI), con una eficiencia del 98%, que es la mejor tecnología operativa disponible actualmente para la desalación de agua de mar. Como resultado, se obtiene un consumo energético específico en los bastidores de 2,1 kW·h/m³, valor muy reducido que se asocia a unas emisiones de gases de efecto invernadero igualmente reducidas. La construcción de un nuevo sistema de distribución formado por tres estaciones de bombeo, conducciones, tomas de entrega a usuarios y un sistema de adquisición de datos y telecontrol representa una notable mejora con respecto al manejo actual, especialmente en lo que a emisiones de gases de efecto invernadero se refiere, ya que la alimentación de todo el sistema de distribución con plantas solares fotovoltaicas favorece que el proyecto se realice con el menor perjuicio posible sobre los objetivos de mitigación y adaptación al cambio climático.

Efecto de la actuación sobre la vida útil o la capacidad de la EDAM

El aprovechamiento de la energía fotovoltaica, junto con la construcción de una nueva red de distribución del agua desalada, permitirá un aprovechamiento medioambientalmente más sostenible del agua producida en la EDAM de Carboneras. Las infraestructuras proyectadas asociadas la EDAM no supondrán un incremento de la vida útil de la planta ni de ninguno de los



elementos fundamentales para la producción de agua marina desalinizada. Las actuaciones no incrementarán la capacidad productiva de la planta ni conllevan la solicitud de concesiones adicionales.

11.6. Proyecto de planta solar fotovoltaica para bombeo hacia balsa Ballabona (Almería)

Comunidad de Regantes	Comunidad de Regantes Sindicato de Riegos de Cuevas del Almanzora
Provincia	Almería
Términos municipales afectados	Cuevas del Almanzora
Origen del agua	<ul style="list-style-type: none"> • Instalación de regeneración de aguas salinizadas de la Comunidad de Regantes. • Tránsito Negratín. • Tránsito Tajo-Segura. • Presa de Cuevas del Almanzora. • EDAM del Bajo Almanzora.
Superficie total de la C.R.	5.400 ha
Superficie afectada por la actuación	800 ha
Infraestructuras necesarias	<ul style="list-style-type: none"> • Planta Solar Fotovoltaica de 515 kW. • Línea Eléctrica hasta Bombeo
Presupuesto estimado de la actuación	1.008.123,60 € (IVA no incluido).
Descripción detallada de la actuación, objetivo y justificación	
<p>El bombeo actual hacia balsa Ballabona se realiza mediante la conexión a red con un consumo de 4.326.000 KW·h/año. La actuación plantea la construcción de una planta fotovoltaica de 515 kWp para alimentar al bombeo existente que producirá un ahorro energético notable estimado en un 19% (ahorro de 821.940 KW·h/año). Adicionalmente, se instalará una línea eléctrica de 473 metros de longitud con 5 apoyos mediante conductor LA56 (47-AL1/8-ST1A) y centro de transformación (TR1 630 kVA).</p> <p>Tanto el bombeo como la planta solar estarán telecontrolados, lo que permitirá un control y una explotación eficiente y óptima de los mismos.</p> <p>Esta actuación se enmarca en los siguientes objetivos medioambientales: (i) la adaptación al cambio climático, (ii) la mitigación del cambio climático, (iii) uso sostenible y protección de los recursos hídricos, (iv) transición hacia una economía circular, (v) prevención y control de la contaminación y (vi) protección y recuperación de la biodiversidad y de los ecosistemas.</p>	
Informe técnico sobre la actuación	
<p>Este proyecto propone la sustitución del sistema de suministro eléctrico en la impulsión que eleva el agua desde la EDAM del Bajo Almanzora hasta la balsa Ballabona. La impulsión se suministra actualmente con energía eléctrica convencional y la actuación consiste en la construcción de una planta solar fotovoltaica para reemplazar dicho suministro. Además, se incluyen otras instalaciones complementarias como son una línea eléctrica, un centro de transformación y un sistema de adquisición de datos y telecontrol, con la finalidad de para optimizar el control y la explotación del suministro. Como consecuencia de la actuación, el nivel actual de emisiones de gases de efecto invernadero se verá notablemente reducido ya que se espera un ahorro energético del 19% y el suministro de energía será de origen fotovoltaico.</p> <p>La EDAM del Bajo Almanzora se ubica a 1.400 m aguas arriba del río Almanzora, en su margen izquierda, ocupando una superficie total de 6,7 ha. El 28 de septiembre de 2012, debido a las graves inundaciones acontecidas en la zona, la mayoría de los equipos e interconexiones de cables</p>	



quedaron sumergidas y ocasionaron graves desperfectos que dejaron inhabilitada la instalación desde entonces. Esta EDAM debería suministrar una parte del agua que recibe la Comunidad de Regantes Sindicato de Riegos de Cuevas del Almanzora.

La EDAM se construyó con una capacidad productiva de 15 hm³/año (ampliable a 20 hm³/año). La captación de agua, que se realizó mediante una toma mixta, permitía captar indistintamente caudales de 6 pozos playeros situados en la desembocadura del río Almanzora o de una toma abierta ubicada en torre de captación. Dada la ubicación de la EDAM, la toma mediante pozos es la preferente ya que garantiza un agua bruta más limpia y homogénea, disminuyendo las necesidades de pre-tratamientos. El pre-tratamiento del agua se realizaba mediante un sistema de filtración multimedia constituido por filtros horizontales de arena silíceo + antracita y filtros de cartuchos para una microfiltración a 20 micras, que garantizaban tanto la adecuación del agua bruta antes del proceso de OI como la protección de las membranas.

El proceso de desalación se realizaba mediante 3 bastidores de OI, con un factor de conversión del 45%, y una producción máxima de 45.000 m³/día (ampliables a 60.000 m³/día). La planta se encontraba preparada para realizar 2º paso de OI para reducir la concentración de boro en el agua producto a 0,5 mg/L. Con el fin de optimizar el consumo de energía y la eficiencia la planta contaba con variadores de frecuencia en el bombeo de alta presión y recuperadores de energía mediante intercambiadores de presión hiperbáricos.

El proceso de remineralización era mediante la incorporación de CO₂ y lechada de hidróxido cálcico mediante el empleo de saturadores de cal, que es la solución tecnológica operativa más extendida y eficiente actualmente.

La EDAM contó como medida correctora con un sistema separativo de los distintos efluentes producidos, eliminando los detergentes y espumas de las aguas procedentes del lavado de membranas antes de su mezcla con el efluente de la salmuera (tratamiento físico-químico de coagulación y floculación para la eliminación de grasas y sólidos suspendidos y sedimentación y decantación en decantadores lamelares, para la recogida de los flóculos en forma de fango, que pasaban al espesador y seguidamente a la máquina de deshidratación).

Para la gestión y tratamiento de la salmuera se consideró su evacuación al mar por un emisario submarino de 2.498 m de longitud (con tramo terrestre y marino) que alcanza la profundidad de -25 m. Los últimos 100 m del emisario corresponden a un tramo difusor formado por 21 orificios o bocas de descarga de 700 mm de diámetro, donde la inclinación del chorro de vertido es de 60º y favorece la difusión de la salmuera en el mar. De acuerdo con la *RESOLUCIÓN de 24 de marzo de 2006, de la Secretaría General para la Prevención de la Contaminación y el Cambio Climático, por la que se formula declaración de impacto ambiental sobre la evaluación del proyecto de «Nueva desaladora del Bajo Almanzora, en Cuevas de Almanzora (Almería)», promovido por Aguas de las Cuencas Mediterráneas*, este modelo de vertido demostró garantizar una dilución grande en el campo cercano. Además, se realizaba una dilución previa de la salmuera en proporción 1 a 0,60 con agua de mar para favorecer cumplir los umbrales críticos de salinidad establecidos para la



Posidonia oceánica (no superarse la salinidad de 38,5 g/L en más del 25% de las observaciones en los puntos de muestreo y no superarse la salinidad de 40 g/L en más del 5% de las observaciones en los puntos de muestreo).

La zona del medio marino donde se sitúa el salmueroducto y donde se realiza el vertido, está catalogada como Lugar de Importancia Comunitaria «Fondos marinos del Levante almeriense» (ES6110010). La calidad e importancia de este lugar se debe a la existencia de praderas de Posidonia oceánica (hábitat de interés comunitario prioritario) situadas entre Villaricos y Terreros, consideradas las más extensas y mejor conservadas del litoral español. Estas praderas ocupaban en 2006 una amplia franja que llegó a superar los 3 km de anchura, y que se extendía desde la línea de costa hasta profundidades de -30 m. Los datos de cartografía disponible indicaban su presencia a 1.700 m al oeste de la zona de vertido. Las simulaciones de modelización del transporte y dispersión de la salmuera realizadas mediante el programa CORMIX2 (US-EPA), para diferentes alternativas planteadas, las cuales incluyen las condiciones más desfavorables en el medio receptor, desde el punto de vista de dilución, demostraron que, para todos los casos estudiados, se cumplirían los umbrales críticos de salinidad establecidos para la Posidonia oceánica. De hecho, para el caso que más se ajusta a la situación real del proyecto (caudal de 1,36 m³/s, dada la decisión de diluir la salmuera previo al vertido) y existencia de vientos y corrientes, los valores de salinidad a la distancia a la que se sitúa la Posidonia oceánica, estaban muy por debajo de los umbrales críticos establecidos. Por consiguiente, la Secretaría General para la Prevención de la Contaminación y el Cambio Climático, a la vista de la Propuesta de Resolución emitida por la Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental de fecha 23 de marzo de 2006 concluyó que la alternativa elegida por el promotor fue compatible con el medio ambiente por no observarse impactos adversos significativos sobre el medio ambiente, con el diseño finalmente presentado a declaración de impacto ambiental, con los controles y medidas propuestas por el promotor y las condiciones específicas expuestas en la presente Resolución.

Según noticias recientes, el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico ha aprobado un anteproyecto para la reconstrucción de la EDAM. La empresa Sacyr Agua ha sido seleccionada en la licitación de un contrato de la empresa pública Acuamed para la redacción del proyecto constructivo, ejecución de las obras de reparación y posterior puesta en marcha de esta EDAM. Esta reconstrucción posibilitará que la EDAM se actualice con la mejor tecnología disponible que redundará en menores consumos energéticos y menores emisiones de gases de efecto invernadero.

En resumen, la EDAM del Bajo Almanzora es una planta que desde su construcción inicial contaba con las mejores tecnologías del momento para la desalación de agua marina, siendo esperable que, en su reconstrucción tras la inundación de 2012, empleen las mejores tecnologías actualmente disponibles en cada una de las etapas del proceso. Como resultado, se obtendrá un consumo energético específico en los bastidores de OI reducido que se asociará a unas emisiones de gases de efecto invernadero igualmente reducidas. La incorporación de una planta fotovoltaica en el bombeo existente a la balsa Ballabona de la Comunidad de Regantes Sindicato de Riegos de Cuevas del Almanzora producirá un ahorro energético estimado en un 19% (ahorro de 821.940



KW·h/año), y, por lo tanto, representa una notable mejora medioambiental especialmente en lo que a emisiones de gases de efecto invernadero se refiere, favoreciendo que el proyecto se realice con el menor perjuicio posible sobre los objetivos de mitigación y adaptación al cambio climático.

Efecto de la actuación sobre la vida útil o la capacidad de la EDAM

La construcción de la planta solar fotovoltaica para la alimentación del bombeo existente en la EDAM del Bajo Almanzora permitirá un aprovechamiento medioambientalmente más sostenible del agua producida en la EDAM. Las infraestructuras proyectadas asociadas a la EDAM no supondrán un incremento de la vida útil de la planta ni de ninguno de los elementos fundamentales para la producción de agua marina desalinizada. Las actuaciones no incrementarán la capacidad productiva de la planta ni conllevan la solicitud de concesiones adicionales.

11.7. Proyecto para la consolidación del regadío a partir de la optimización de aguas regeneradas en la isla de Formentera (Islas Baleares)

Comunidad de Regantes	Comunidad de Regantes de Formentera
Provincia	Islas Baleares
Términos municipales afectados	Formentera
Origen del agua	EDAR de Formentera EDAM de Formentera
Superficie total de la C.R.	114 ha
Superficie afectada por la actuación	114 ha
Infraestructuras necesarias	<ul style="list-style-type: none"> • Sistema de tratamiento físico/químico formado por bombeo, decantador, tanque de almacenamiento, deshidratador de lodos y sistema de control. • Tubería de PEAD Ø 200 mm y longitud 2.650 m por camino existente desde el actual depósito de Es Pujols en el cual se almacena el agua desalada hasta la balsa de regulación del regadío. • Bombeo situado en el depósito de Es Pujols • Sistema de Telecontrol de hidrantes y bombeos. • Planta solar fotovoltaica para suministro eléctrico a planta desaladora y bombeos.
Presupuesto estimado de la actuación	1.060.000 € (IVA no incluido).
Descripción detallada de la actuación, objetivo y justificación	
<p>El aprovechamiento para riego de las aguas de la población de Formentera se puso en servicio en el año 2019. El agua de la isla presenta, en general, un elevado contenido en sales cloruradas-sódicas, debido principalmente a la intrusión marina, en parte agravada por las reducidas dimensiones de la isla que facilitan la salinización de los pozos de abastecimiento. Formentera posee una depuradora de agua (EDAR), que alcanza un caudal depurado de 0,57 hm³/año, formada por tratamientos primario y secundario. La salinidad del agua efluente de la EDAR, que supera los 250 mg/L de cloruros, es muy elevada. Por consiguiente, para que el agua de la EDAR pueda utilizarse para el riego agrícola se construyó una planta desaladora con una capacidad de producción de 1.500 m³/día entre la salida del agua de la EDAR y la balsa de regulación del regadío, con capacidad para 94.000 m³, compuesta por una línea de tratamiento que incorpora una prefiltración con filtros de sílex, una ultrafiltración y una OI.</p> <p>Actualmente existen dos situaciones que requieren solución. Por un lado, durante la época del año con menos población turística, la capacidad de generar agua depurada es baja, unos 200-300 m³/día, mientras que cuando la población turística es alta, y existe una mayor entrada de agua residual a la EDAR. Como resultado las calidades que se obtienen de agua depurada, <aunque cumplen con la normativa de vertido, no son adecuadas para la alimentación de la planta desaladora. Esto ocasiona que la ultrafiltración situada previa a la etapa de OI tenga que auto lavarse con mucha frecuencia y en consecuencia los rendimientos de la planta disminuyen considerablemente. En este contexto, existe un déficit de agua en época estival que, en determinadas circunstancias, pone en peligro el llenado de la balsa en la época fuerte de demanda de riego, y por lo tanto no garantiza en todas las circunstancias, abastecer de suficiente agua regenerada para regar la superficie de la Comunidad de Regantes de Formentera.</p> <p>Se plantean 2 actuaciones principales:</p> <p>1.- Para aumentar la entrada de agua a la balsa de regulación para el regadío en épocas donde la demanda del turismo es reducida, se establecerá la conexión de la red de abastecimiento de agua</p>	



desalada procedente de la EDAM de Formentera con la balsa de regulación del regadío de Formentera (suministrada por la EDAR de Formentera). El uso del agua desalada permitirá llenar la balsa desde noviembre a marzo con agua con reducida salinidad de modo que en verano aumentará el rendimiento de la instalación al poder suministrar a los regantes mayor cantidad de agua directamente de la ultrafiltración sin tener que pasar por los bastidores de OI. Adicionalmente, la EDAM de Formentera está diseñada para cubrir las necesidades puntas de verano por lo que en invierno varias de sus líneas suelen ponerse en estado de hibernación por lo que su utilización para el suministro a la balsa de regulación para el regadío permitirá un uso continuo durante todo el año.

2.- Para mejorar la calidad de entrada de agua de la EDAR a la planta desalobradoradora se instalarán un sistema de prefiltros y tanque de tratamiento fisicoquímico (decantador, tanque de almacenamiento, deshidratador de lodos y sistema de control) que reduzcan los sólidos en suspensión y materia orgánica.

Para el mejor aprovechamiento de las aguas regeneradas de Formentera se instalarán sistemas de telecontrol en los hidrantes y se construirá una planta fotovoltaica que garantizará el funcionamiento de todo el sistema, incluidas las estaciones de bombeo existentes.

Esta actuación se enmarca en los siguientes objetivos medioambientales: (i) la adaptación al cambio climático, (ii) la mitigación del cambio climático, (iii) uso sostenible y protección de los recursos hídricos, (iv) transición hacia una economía circular, (v) prevención y control de la contaminación y (vi) protección y recuperación de la biodiversidad y de los ecosistemas.

Informe técnico sobre la actuación

La Comunidad Regantes de Formentera riega exclusivamente con aguas regeneradas de la EDAR de Formentera, cuya producción es muy variable a lo largo del año y no garantiza el correcto abastecimiento en verano, periodo de máxima demanda. Además, por tratarse de aguas regeneradas salobres de calidad muy variable, se generan distintos problemas de producción en la desalobradoradora ya existente en la comunidad de regantes. Con el fin de resolver los problemas de cantidad y calidad en el suministro se plantean una serie de actuaciones sobre la gestión del agua en la isla para optimizar el suministro al regadío, que incluyen: (1) un sistema de tratamiento fisicoquímico, para mejorar el pre-tratamiento en la planta desalobradoradora; (2) una tubería de conexión con la red de abastecimiento de agua potable, para poder disponer del exceso de capacidad de producción de agua marina desalinizada en la EDAM de Formentera; (3) una planta solar fotovoltaica para suministro a planta desalobradoradora y bombeos; y (4) un sistema de adquisición de datos y telecontrol para optimizar la gestión del sistema de suministro y distribución de agua de la comunidad de regantes. Este conjunto de actuaciones representa una sustancial mejora en la gestión y aprovechamiento de las aguas desaladas y desalobradoradas en el regadío de la isla de Formentera, incorporando agua marina desalinizada de instalaciones ya disponibles, mejorando las instalaciones de pre-tratamiento en la estación desalobradoradora de la comunidad de regantes, y reduciendo el nivel actual de emisiones de gases de efecto invernadero con la incorporación de una planta solar fotovoltaica para el suministro eléctrico de la desalobradoradora y las impulsiones.

La EDAM de Formentera, construida en 1995, abastece a la pequeña y turística isla de Formentera. La EDAM se abastece mediante 8 pozos de captación que realizan un pre-filtrado del agua bruta, garantizando un suministro de gran calidad a la planta. El proceso de pre-tratamiento consiste en



un sistema de filtración multimedia constituido por lechos de arena y filtros de cartucho, que garantizan tanto el tratamiento adecuado del agua bruta antes del proceso de OI como la protección de las membranas.

La tecnología de desalación consiste en tres etapas de OI con una capacidad de producción de 7.000 m³/día. Entre los años 2016 y 2018 se realizó la remodelación de los componentes del proceso de desalación, aplicando nuevas tecnologías para obtener la máxima calidad de agua y ahorro energético. Entre ellas, destaca de la sustitución de las membranas de fibra hueca por membranas TFC de alta permeabilidad de arrollamiento en espiral, así como la sustitución de las turbinas Pelton por un sistema de recuperación de energía mediante cámaras isobáricas. Esta tecnología de desalación por OI se encuentra entre las más eficientes actualmente. El volumen de salmuera generado, dada la escasa dimensión del proyecto, es muy reducido y se envía al mar mediante un emisario.

Desde el punto de vista de conservación de los recursos hídricos, es importante destacar que el uso del agua producido por la EDAM de Formentera permite reducir la presión sobre el acuífero de la isla, actualmente en estado de sobreexplotación y salinización.

En la estación desalobrador de la comunidad de regantes, el refuerzo del pre-tratamiento fisicoquímico con un sistema formado por decantador, tanque de almacenamiento y deshidratador de lodos permitirá mejorar el funcionamiento del sistema de ultrafiltración, permitiendo un mayor flujo de agua bruta a los bastidores de OI y, consecuentemente, una mayor producción de agua de riego en periodo punta de consumo (verano). Esta actuación además permitirá una reducción en los consumos energéticos en el pre-tratamiento.

En resumen, La Comunidad de Regantes de Formentera comenzará a utilizar agua marina desalinizada de la EDAM de Formentera, que se trata de una planta de tamaño muy reducido y que, gracias a su reciente modernización, cuenta con las mejores tecnologías disponibles para la desalación de agua marina. Como resultado, se obtendrá un consumo energético específico en los bastidores de OI reducido que se asociará a unas emisiones de gases de efecto invernadero igualmente reducidas. Las actuaciones sobre el sistema de pre-tratamiento de la desalobrador de la comunidad de regantes también mejorarán su eficiencia de funcionamiento. La instalación de la planta fotovoltaica para alimentar a la planta desalobrador y bombeos representa una notable mejora medioambiental, especialmente en lo que a emisiones de gases de efecto invernadero se refiere. En su conjunto, las actuaciones representan una clara mejora de la gestión del agua de riego en la isla de Formentera y favorecen que el proyecto se realice con el menor perjuicio posible sobre los objetivos de mitigación y adaptación al cambio climático.

Efecto de la actuación sobre la vida útil o la capacidad de la EDAM

Las infraestructuras proyectadas permitirán un aprovechamiento óptimo del agua regenerada y del agua marina desalinizada producidas en la EDAR y en la EDAM de la isla de Formentera, respectivamente. Las actuaciones no supondrán un incremento de la vida útil de la EDAM ni de ninguno de los elementos fundamentales para la producción de agua marina desalinizada. Las



actuaciones no incrementarán la capacidad productiva de la planta ni conllevan la solicitud de concesiones adicionales.



11.8. Proyecto de modernización y mejora de la red de riego del golfo, T.M. la Frontera, Isla de el Hierro (Santa Cruz de Tenerife)

Comunidad de Regantes	Comunidad de Regantes Valle del Golfo
Provincia	Santa Cruz de Tenerife
Términos municipales afectados	La Frontera
Origen del agua	<ul style="list-style-type: none"> • 715.037 m³ pozo La Frontera. • 875.201 m³ pozo de Los Padrones. • 248.311 m³ desalada de EDAM El Golfo.
Superficie total de la C.R.	340 ha
Superficie afectada por la actuación	340 ha
Infraestructuras necesarias	<ul style="list-style-type: none"> • Sustitución de algunos tramos de la red de El Golfo. • Construcción de una estación de filtrado. • Instalación de aparatos de registro y telecontrol en la red existente. • Construcción de un pequeño depósito en la EDAM del Golfo. • Instalación de equipo de bombeo en la desaladora del Golfo. • Instalación de una conducción de impulsión desde el pozo de los Padrones, que se conecte con otra desde la desaladora y juntos lleguen hasta la balsa de Frontera y a un depósito de hormigón armado que se construirá a cota 135 m. • Construcción Depósito de 20.000 m³ situado en una zona intermedia entre la EDAM, el pozo de los padrones y la balsa y así disminuir los costes de impulsión.
Presupuesto estimado de la actuación	4.876.000,00 M€ (IGIC no incluido).
Descripción detallada de la actuación, objetivo y justificación	
<p>El objetivo de esta actuación es la modernización y mejora de la red de riego de la balsa del Golfo (también conocida como balsa de la Frontera), ubicada en la isla del Hierro, y que suministra agua a 340 ha distribuidas en 1.541 parcelas (1.170 comuneros/as) cultivadas principalmente por piña tropical y plátano. Esta balsa se encuentra a 210 m, sin embargo, la mayoría de la superficie regada se encuentra por debajo de la cota 100 m. Por este motivo, el proyecto modernizará la red de distribución (mediante tuberías de fundición dúctil y acero galvanizado) y los sistemas de filtrado. Además, mejorará el almacenamiento del sistema trabajando en dos escalones de riego, mediante la construcción de un depósito intermedio con capacidad 20.000 m³ a cota 135 m, de manera que se reduzcan los costes energéticos de elevación del agua desde el Pozo de Los Padrones (agua subterránea) y la EDAM del Golfo. Esta actuación, aparte de mejorar y optimizar la gestión de los recursos hídricos de la zona, permitirá a los agricultores instalar sistemas modernos de regadío, evitándose la utilización de equipos adicionales de bombeo y, por lo tanto, favoreciendo el ahorro energético; aspecto que se encuentra en consonancia con el desarrollo de técnicas e infraestructuras que favorezcan la mitigación y adaptación al cambio climático.</p> <p>Adicionalmente, se instalará un sistema de telegestión y telecontrol de los puntos de entrega de agua a los usuarios, y una gestión integral de la balsa y de los depósitos existentes.</p> <p>Esta actuación se enmarca en los siguientes objetivos medioambientales: (i) la adaptación al cambio climático, (ii) la mitigación del cambio climático, (iii) uso sostenible y protección de los recursos hídricos, (iv) transición hacia una economía circular, (v) prevención y control de la contaminación y</p>	



(vi) protección y recuperación de la biodiversidad y de los ecosistemas.

Informe técnico sobre la actuación

La actuación pretende optimizar el manejo del agua desalada producida en la EDAM del Golfo, que actualmente se eleva en su integridad hasta una cota de 210 m. Para conseguirlo, propone la sectorización de la zona de riego en dos escalones, el primero constituido por las parcelas con mayor cota, que se abastecerán desde la balsa disponible actualmente, y el segundo constituido por las parcelas que se encuentran por debajo de cota 100 m, que se abastecerá desde un nuevo depósito de 20.000 m³ localizado a cota 135 m. Las instalaciones propuestas tienen por objeto (i) permitir este cambio en la organización del suministro (conducción de impulsión, depósitos, equipo de bombeo, nuevos tramos de red de distribución) y, (ii) mejorar funcionamiento y gestión de la red de distribución (equipos de filtrado y sistemas de adquisición de datos y telecontrol). Este conjunto de actuaciones permitirá mejorar y optimizar la gestión de los recursos hídricos y energéticos en la comunidad de regantes. Adicionalmente, permitirá a los agricultores mejorar sus instalaciones de riego en parcela, evitándose la utilización de equipos adicionales de bombeo y, por lo tanto, favoreciendo el ahorro energético. Por tanto, este conjunto de mejoras representa un importante ahorro energético con el consecuente efecto de reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero.

La EDAM el Golfo es una planta de escala reducida que dispone de cuatro pozos de captación de agua de mar para el suministro el agua bruta a la planta. La planta utiliza el sistema de OI para producir 4.000 m³/día de agua desalada. El volumen de salmuera generado, dada la escasa dimensión de la planta, también es muy reducido y se envía al mar mediante un emisario.

En resumen, la escasa información disponible indica que la EDAM el Golfo basa su producción en la tecnología de OI, que es la más eficiente para la desalación de agua marina. Las actuaciones propuestas darán lugar a una nueva organización de la distribución del agua producida en la EDAM el Golfo que representa un ahorro energético importante y, por lo tanto, pueden considerarse infraestructuras que favorecen la mitigación y adaptación al cambio climático.

Efecto de la actuación sobre la vida útil o la capacidad de la EDAM

Las infraestructuras proyectadas, dirigidas a la sectorización de la zona de riego en dos escalones con diferentes cotas geométricas, permitirán un aprovechamiento óptimo y medioambientalmente sostenible de las aguas producidas en la EDAM del Golfo. Las actuaciones no supondrán un incremento de la vida útil de la EDAM ni de ninguno de los elementos fundamentales para la producción de agua marina desalinizada. Las actuaciones no incrementarán la capacidad productiva de la planta ni conllevan la solicitud de concesiones adicionales.

11.9. Proyecto para la mejora de la regulación y gestión de las aguas para la Comunidad de Regantes de Alhama de Murcia (Región de Murcia)

Comunidad de Regantes	Comunidad de Regantes Alhama de Murcia
Provincia	Murcia
Términos municipales afectados	Alhama de Murcia
Origen del agua	<ul style="list-style-type: none"> • EDAM de Valdelentisco. • Trasvase Tajo-Segura. • EDAR. • Sondeos.
Superficie total de la C.R.	7.206 ha
Superficie afectada por la actuación	7.206 ha
Infraestructuras necesarias	<ul style="list-style-type: none"> • Balsa de 200.000 m³. • 1.200 m de tubería de 500 mm.
Presupuesto estimado de la actuación	1.425.286,60 € (IVA no incluido).
Descripción detallada de la actuación, objetivo y justificación	
<p>La Comunidad de Regantes Alhama de Murcia recibe agua del trasvase Tajo-Segura (4,95 hm³/año), de EDAR (0,88 hm³/año) y subterráneas mediante sondeos. Desde mayo de 2015 está utilizando el agua de la EDAM de Valdelentisco (1 hm³/año), estando en tramitación la concesión administrativa. Esta actuación plantea la construcción de una balsa de 200.000 m³ en los alrededores de la Sierra de Carrascoy (Alhama de Murcia) y la instalación de 1.200 m de tubería de PVC DN 500 mm con timbraje PN10. El objetivo de la actuación es: (i) garantizar las necesidades de almacenamiento y regulación de las aguas procedentes de la EDAM de Valdelentisco, (ii) asegurar la calidad resultante de las dotaciones de la EDAR y subterráneas al poder mezclarlas con las aguas procedentes de la EDAM y (iii) garantizar los caudales y presiones de la red de riego mediante una balsa de dominio de cota evitando así la necesidad de aportaciones extraordinarias de presión mediante estaciones de bombeo y, por tanto, limitando el consumo energético.</p> <p>Esta actuación se enmarca en los siguientes objetivos medioambientales: (i) la adaptación al cambio climático, (ii) la mitigación del cambio climático, (iii) uso sostenible y protección de los recursos hídricos, (iv) transición hacia una economía circular, (v) prevención y control de la contaminación y (vi) protección y recuperación de la biodiversidad y de los ecosistemas.</p>	
Informe técnico sobre la actuación	
<p>El proyecto propone la construcción de una balsa de 200.000 m³ para la regulación del suministro de agua de 1 hm³/año desde la EDAM de Valdelentisco, con el objetivo de poder gestionar adecuadamente la mezcla de estas aguas con otros suministros disponibles de peor calidad, como aguas regeneradas y subterráneas. La balsa dispondrá de dominio de cota sobre la zona regable, por lo que evitará el consumo energético en la fase de distribución. La actuación se complementa con la instalación de 1500 m de tubería para la conexión de la nueva balsa. La estrategia de gestión más recomendable para integrar el agua marina desalinizada en el regadío es su uso conjunto con otras fuentes, circunstancia que reduce su impacto económico en las explotaciones, minimiza los riesgos agronómicos, y permite poner en valor otras aguas de peor calidad. Por tanto, se trata de una actuación necesaria para realizar una gestión conjunta del agua marina desalinizada y otras fuentes de peor calidad en la Comunidad de Regantes Alhama de Murcia, que dará lugar a una</p>	



mejora en la gestión y aprovechamiento del agua desalada que ya se viene suministrando desde de la EDAM de Valdelentisco. La actuación no implica nuevos consumos energéticos en la distribución del agua, por lo que se puede considerar que se realiza con el menor perjuicio posible sobre los objetivos de mitigación y adaptación al cambio climático.

La EDAM de Valdelentisco, inaugurada oficialmente en enero de 2008, está ubicada en la margen izquierda de la Rambla de Valdelentisco, entre Mazarrón y Cartagena (Murcia). La planta suministra caudales tanto al abastecimiento urbano (Mancomunidad de Canales del Taibilla) como a zonas regables deficitarias del Campo de Cartagena, Mazarrón y Valle del Guadalentín. Para atender estas necesidades, la planta dispone de una capacidad de producción ampliable hasta los 200.000 m³/día, que permitiría una aportación máxima de 70 hm³ anuales, lo que la convierte en una de las mayores plantas desaladoras de agua marina en Europa. La producción total en 2020 ha sido de 27,5 hm³ = 75.343 m³/día, con un consumo eléctrico de 116 GW·h y un consumo de energía específico de 4,2 kW·h/m³ (incluye producción y distribución de agua). Estas cifras ponen de manifiesto que la planta actualmente no se explota a plena capacidad, y que los consumos específicos son los correspondientes a la mejor tecnología de OI disponible actualmente.

Para la captación de agua de mar dispone de una torre de toma abierta a cota -25 m, construida de tal manera que se minimiza el riesgo de variaciones en la calidad del agua bruta que puedan afectar tanto al proceso como a la calidad del agua producida. En su parte superior dispone de 4 tomas de forma cúbica y cuyos laterales están formados de rejillas fabricadas en PRFV que sirven de filtro del agua captada. La altura de dichos puntos de toma sobre el lecho marino asegura la ausencia de importantes cantidades de sólidos en suspensión en momentos con mar de fondo y su distancia en la superficie asegura la ausencia de luz solar que pudiera fomentar un crecimiento biológico, dañino para el proceso de OI. Además, de esta forma la toma se encuentra lejos del límite inferior de la pradera de Posidonia oceánica, por lo que se reduce al mínimo su afección. En la base de la torre se conecta la tubería del inmisario, que conduce el agua de mar hasta la cántara a través de un primer tramo realizado en tubería de PEAD lastrada y un segundo tramo en tubería puesta en obra mediante una hincada desde el pozo de bombeo de agua de mar. La cámara de captación está equipada con 8 (7 + 1 de reserva) bombas sumergibles de 1.800 m³/h con una altura manométrica de 458 m.c.a., y con motor de 355 kW de potencia nominal.

En el pre-tratamiento el agua transcurre por un depósito de agua bruta dentro de las instalaciones de la planta, con 1.200 m³ de capacidad, desde el cual se alimenta un sistema de filtración multimedia constituido por filtros de arena cerrados y filtros de cartuchos previos al bombeo de alta presión. También se realiza un tratamiento químico para acondicionar el agua, que garantiza tanto el tratamiento adecuado del agua bruta antes del proceso de OI como la protección de las membranas.

La desalación se realiza mediante sistema de OI, dividida en dos líneas independientes con ocho trenes de alta presión cada una. La conversión de diseño es del 50%, obtenida a través de una doble etapa con siete elementos por caja de presión y bomba inter-etapas (bomba booster). Se emplean membranas TFC de alta permeabilidad configuradas en arrollamiento en espiral. En 2018 se instalaron cámaras isobáricas rotativas (ERI) para la recuperación de energía residual en la salmuera. Tras esta actualización, la planta dispone de la mejor tecnología operativa disponible



para la desalación de agua marina, que le permite minimizar los consumos específicos ($\text{kW}\cdot\text{h}/\text{m}^3$) y, consecuentemente, las emisiones de gases de efecto invernadero. Previo a la distribución, se realiza el post-tratamiento de remineralización mediante inyección directa de CO_2 y lechada de cal.

Para el vertido de la salmuera al mar se dispone de un emisario, con un primer tramo terrestre (800 m PRFV \varnothing 1400) y un segundo tramo submarino (1.250 m PEAD \varnothing 1600). El tramo final del salmueroducto dispone de difusores para que la salmuera se diluya en la misma proporción que la existente en esta zona de la Bahía de Mazarrón. La declaración de impacto ambiental favorable sobre el proyecto “Desaladora de Agua de mar y de la red de distribución (sector norte y sector sur) del campo de Cartagena (zonas regables de Sucina, los Martínez del Puerto, Alhama y Fuente Álamo”, de la Confederación Hidrográfica del Segura, se encuentra en la Resolución de 3 de febrero de 2004, de la Secretaría General de Medio Ambiente. Los vertidos al mar están autorizados por resolución de la Dirección General de Medio Ambiente.

En resumen, las tecnologías actualmente implementadas en la EDAM de Valdelentisco se encuentran entre las mejores tecnologías disponibles en cada una de las etapas del proceso. La EDAM utiliza actualmente la tecnología de OI con membranas TFC de alta permeabilidad, con sistemas de recuperación de energía mediante cámaras isobáricas de desplazamiento rotativo (ERI), con una eficiencia del 98%, que es la mejor tecnología operativa disponible actualmente para la desalación de agua de mar. Como resultado, el consumo energético específico de la planta es el más reducido posible, generando unas emisiones de gases de efecto invernadero igualmente reducidas. La construcción de la balsa de 200.000 m^3 y las actuaciones complementarias (conducciones) permitirán a la Comunidad de Regantes Alhama de Murcia mejorar la gestión y aprovechamiento del agua desalada suministrada desde de la EDAM de Valdelentisco. Finalmente, la actuación propuesta no implica incrementos en los consumos energéticos actuales, sino que evitará la necesidad de aportaciones extraordinarias de presión mediante estaciones de bombeo al disponer la nueva balsa de dominio de cota sobre la zona regable, favoreciendo que el proyecto se realice con el menor perjuicio posible sobre los objetivos de mitigación y adaptación al cambio climático.

Efecto de la actuación sobre la vida útil o la capacidad de la EDAM

La construcción de una balsa de 200.000 m^3 en Alhama de Murcia permitirá una gestión más eficiente del agua producida en la EDAM de Valdelentisco. Las infraestructuras proyectadas asociadas la EDAM no supondrán un incremento de la vida útil de la planta ni de ninguno de los elementos fundamentales para la producción de agua marina desalinizada. Las actuaciones no incrementarán la capacidad productiva de la planta ni conllevan la solicitud de concesiones adicionales.



12. Síntesis y conclusiones

Desde hace una década, el suministro masivo y directo de agua marina desalada para riego agrícola es una realidad en regiones como el sureste español o el sur de Israel. La desalobración de recursos hídricos subterráneos o superficiales para fines agrícolas se inició bastantes años antes, aunque generalmente a una menor escala y, consecuentemente, con una perspectiva más local. Hoy son muchos los países que han iniciado o se están planteando inversiones importantes en desalación para mantener o impulsar importantes zonas de producción hortofrutícola.

Entre las tecnologías de desalación operativas, la que ha experimentado un mayor avance tecnológico en las últimas décadas ha sido la ósmosis inversa (OI), que ha alcanzado unos consumos específicos de energía notablemente más reducidos que el resto, por lo que su uso se ha generalizado en la práctica totalidad de nuevas actuaciones de desalación, tanto con agua de mar como con agua salobre. Actualmente se trata de tecnología plenamente madura, donde las posibilidades de mejora de rendimientos de los equipos y de los circuitos hidráulicos son muy limitadas, ya que prácticamente se ha llegado a los límites termodinámicos del proceso.

Se pueden diferenciar 4 procesos o fases en las estaciones desaladoras, ya sean de agua marina o salobre. La primera es la captación, donde no se identifica una tecnología superior al resto, sino que son las características locales de acceso al agua bruta y su calidad las que condicionan la elección de la tecnología. En el siguiente proceso, el pre-tratamiento, la filtración multimedia es la solución generalizada, empleando sucesivamente tecnologías con tamaño de filtración decreciente mediante distintas configuraciones, que pueden incorporar filtros de disco, lechos filtrantes, microfiltración e incluso ultrafiltración. La tercera fase es la OI propiamente dicha, donde el empleo de membranas TFC (*Thin Film Composite*) de alta permeabilidad y sistemas de recuperación de energía mediante intercambiadores isobáricos rotativos es la mejor tecnología disponible en el rango de presiones de trabajo propias de la desalación de agua mar (60-70 bares), mientras que en estaciones desaladoras que trabajan a menor presión (10-20 bares), la realización de dos etapas de ósmosis con recuperación de la energía residual de la salmuera mediante turbocompresores (*turbochagers*) también es altamente eficiente y recomendable. La última fase es el post-tratamiento, donde la adición de CO₂ y una lechada saturada de hidróxido cálcico es la solución más operativa para la remineralización del agua osmotizada, pudiendo ser necesario el segundo paso de OI en una fracción del agua osmotizada para reducir la concentración de boro si el agua producto se va a destinar al riego de zonas con presencia de cultivos sensibles (cítricos y frutales de hueso principalmente). En el caso de estaciones desaladoras, es muy frecuente realizar la remineralización mediante la mezcla del agua osmotizada con una pequeña fracción (5-15%) de agua salobre bruta o pretratada, disminuyendo el coste final del agua producto.

El principal efluente de los procesos de desalación es la producción de salmueras, que deben ser gestionadas oportunamente para que su vertido a las masas de agua no genere daños ambientales significativos, o incluso valorizadas. Las principales alternativas para la gestión y valorización de salmueras son la descarga controlada a masas de agua, la concentración en

subproductos comercializables y la valorización mediante su uso en otros procesos. En las estaciones de desalación de agua marina el vertido de salmueras al mar mediante emisarios submarinos es la solución generalizada, donde son habituales los estudios de modelización matemática para determinar su dilución y dispersión en el mar, y así garantizar la ausencia de daños medioambientales inasumibles. En el caso de las estaciones desaladoras, el vertido al mar o a otras masas de aguas continentales también es la solución habitual, aunque en estos casos resulta más problemática porque su composición difiere notablemente de la del agua marina, y puede presentar concentraciones de nutrientes que requieran tratamientos específicos previos al vertido, como la desnitrificación. La concentración de la salmuera en subproductos comercializables (obtención de sales, fabricación de hipoclorito sódico, suplementos alimenticios para el ganado, ...) son alternativas muy interesantes, pero su uso se encuentra actualmente bajo estudio e investigación, al igual que su valorización en otras tecnologías emergente (forward osmosis, las células de combustible microbianas, ...).

La revisión de los proyectos de modernización de regadíos que incorporan actuaciones de desalación de agua marina y salobre, o que persiguen un mejor aprovechamiento de aguas desaladas y desalobradas, incluidas en el Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia de la economía española, pone de manifiesto que en todos los casos las soluciones propuestas se encuentran en la vanguardia tecnológica. Así ocurre en los proyectos propuestos por las comunidades de regantes Sol y Arena, Sindicato de Riegos de Cuevas del Almanzora y Sindicato de Riegos de Cuevas del Almanzora, donde **las nuevas instalaciones de desalación o desalobración propuestas emplean las mejores tecnologías disponibles en la actualidad.** Los proyectos propuestos por la Comunidad General de Riegos de Levante, Margen Izquierda del Segura, la Comunidad de Usuarios de Aguas de la Comarca de Níjar, Junta Central de Usuarios de Aguas del Valle del Almanzora, Comunidad de Regantes del Bajo Almanzora, Comunidad de Regantes de Vera, S.A.T. nº 2.503 de Antas, S.A.T. Agrolujo, Comunidad de Regantes Sindicato de Riegos de Cuevas del Almanzora, Comunidad de Regantes de Formentera, Comunidad de regantes Valle del Golfo y Comunidad de Regantes Alhama de Murcia, no incluyen nuevas instalaciones de desalación, sino una serie de **infraestructuras que persiguen tanto optimizar la gestión, la producción y consumo energético, como el aprovechamiento de recursos hídricos no convencionales, con el fin de incorporarlos de la mejor forma posible al riego agrícola.** En éstas, las infraestructuras proyectadas asociadas a las EDAMs no supondrán un incremento de la vida útil de las plantas ni de ninguno de los elementos fundamentales para la producción de agua marina desalinizada. Las actuaciones no incrementarán la capacidad productiva de las plantas ni conllevan la solicitud de concesiones hídricas adicionales.

Cartagena, a 11 de mayo de 2022

Los autores del informe

Fdo.: José Francisco Maestre Valero

Dr. Ingeniero Agrónomo - Profesor Titular de la Universidad Politécnica de Cartagena

Victoriano Martínez Álvarez

Dr. Ingeniero Agrónomo - Catedrático de la Universidad Politécnica de Cartagena

Referencias

- AEDyR, 2018. “Desalación en España en primera persona. De hitos pioneros a referente internacional”. Informe Asociación Española de Desalación y Reutilización.
- Arenas Urrea, S., Díaz Reyes, F., Peñate Suárez, B., de la Fuente Bencomo, J.A. 2019. Technical review, evaluation and efficiency of energy recovery devices installed in the Canary Islands desalination plants. *Desalination*, 2019, pp. 54–63.
- Ayers, R.S., Westcot, D.W. 1985. Water quality for agriculture, FAO Irrigation and Drainage Paper 29, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- CEDEX, 2021. Estudio del CEDEX sobre límite impuesto al boro en las aguas del post trasvase. Anexo VIII DEL Anexo III de la Propuesta de Proyecto de Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Segura (revisión para el tercer ciclo: 2022-2027). Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico.
- Fernández-Torquemada, Y., Sánchez-Lizaso, J.L. 2005. Effects of salinity on leaf growth and survival of the Mediterranean seagrass *Posidonia oceanica* (L.) Delile. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 320, 57–63.
- Hmong, 2022. Intercambiador de presión. Consulta en marzo de 2022 en https://hmong.es/wiki/Pressure_Exchanger.
- IDA, 2019. “IDA Water Security Handbook, 2018-2019”. Ed. GWI/IDA/Water Desalination Report.
- Imbernón-Mulero, A., Gallego-Elvira, B., Martínez-Alvarez, V., Martín-Gorriz, B., Molina-del-Toro, R., Jodar-Conesa, F.J., Maestre-Valero, J.F. 2022. Boron Removal from Desalinated Seawater for Irrigation with an On-Farm Reverse Osmosis System in Southeastern Spain. *Agronomy*, 12(3), 611
- Lenntech, 2022. Energy recovery turbochargers. Consulta en marzo de 2022 en <https://www.lenntech.com/Data-sheets/ERI-AT-L.pdf#page=2>.
- Maas, E.V., Grattan, S.R. 1999. Crop yields as affected by salinity, in: R.W. Skaggs, J. Van Schilfgaarde (Eds.), *Agricultural Drainage*. Number 38 in the Series *Agronomy*, (Madison, Wisconsin, USA).
- Martínez-Alvarez, V., Martín-Gorriz, B., Soto-García, M. 2016. Seawater desalination for crop irrigation — A review of current experiences and revealed key issues. *Desalination* 381, 58–70.
- Martínez-Alvarez, V., Maestre-Valero, J.F., González-Ortega, M.J., Gallego-Elvira, B., Martín-Gorriz, B. 2019. Characterization of the Agricultural Supply of Desalinated Seawater in Southeastern Spain. *Water*, 11, 1233.

- Martínez-Alvarez, V., Gallego-Elvira, B, Maestre-Valero, J.F., Martin-Gorriz, B., Soto-García, M. 2020. Assessing concerns about fertigation costs with desalinated seawater in south-eastern Spain. *Agricultural Water Management*, 239, 106257
- Poseidon Water, 2022. The Carlsbad Desalination Project. Consulta en marzo de 2022 en <https://slideplayer.com/slide/9337829/>
- Requena Basildo, F.J. 2020. Estudio de optimización de costes energéticos en procesos de desalación de agua marina por ósmosis inversa. Universidad Politécnica de Cartagena.
- Shtull-Trauring, E., Cohen, A., Ben-Hur, M., Tanny, J., Bernstein, N. 2020. Reducing salinity of treated waste water with large scale desalination. *Water Research*, 186, 116322.
- UPCT, 2018. Informe sobre la utilización de biorreactores con madera para desnitrificación de salmueras en el Campo de Cartagena. Cátedra de Agricultura Sostenible-Campo de Cartagena. Universidad Politécnica de Cartagena.
- Zarzo, D. 2017. Problemática y soluciones para la gestión y tratamiento de salmueras procedentes de Desaladoras. Tesis doctoral. Universidad de Alicante.
- Zarzo, D. 2020. La Desalación del Agua en España. Estudios sobre la Economía Española - 2020/22.