



23 de marzo de 2026

España ante la energía osmótica: del gradiente salino a la energía gestionable

1

Spain and osmotic energy: From salinity gradients to dispatchable power

Abstract:

This article argues that Spain has a window of opportunity to position itself in the osmotic energy industry, and that it should act before it closes. The argument rests on three pillars: first, osmotic energy can provide dispatchable power to the electricity system, a valuable complement to the variability of solar and wind; second, the value chain is anchored in European capabilities—membranes, water engineering and plant operations—in which Spain is globally competitive; and third, hybrid applications with desalination and industrial brines represent the most commercially promising niche, precisely where Spain's ecosystem of companies and technology centres can build a competitive advantage.

Keywords:

Osmotic energy, blue energy, salinity gradient, strategic autonomy, desalination, marine renewable energy.

Cómo citar este documento:

GARCÍA-FIGUERAS, Tomás. *España ante la energía osmótica: del gradiente salino a la energía gestionable*. Documento de Opinión IEEE 33/2026. [enlace web IEEE](#) y/o [enlace bie](#)³ (consultado día/mes/año)

Introducción

La energía osmótica, también denominada «energía azul» o energía de gradiente salino, es una tecnología renovable marina que convierte en electricidad la energía liberada cuando se mezclan corrientes de distinta salinidad —típicamente agua dulce y agua de mar—. A diferencia de las renovables variables, su recurso puede ofrecer un perfil de producción potencialmente muy estable, lo que abre la posibilidad de aportar energía gestionable al sistema eléctrico, condicionada por la existencia sostenida de caudales y gradientes de concentración. Aquí, el término «gestionable» debe entenderse como predecible y modulable dentro de determinados márgenes operativos, no como un sustituto pleno de potencia firme convencional. Su potencial técnico global se ha estimado¹ en más de cinco mil teravatios hora al año (TWh/año), una cifra equivalente al 17 % de la demanda eléctrica mundial en 2024².

El Foro Económico Mundial la incluyó en 2025 entre las diez tecnologías emergentes con mayor proyección. Más allá del recurso, su relevancia estratégica reside en que la cadena de valor se apalanca en capacidades europeas —membranas, ingeniería del agua y operación de plantas— y en que los casos de uso con mayor tracción —aplicaciones híbridas con desalación y salmueras industriales— pueden acelerar su madurez comercial.

En este contexto, Europa dispone de un potencial técnico de casi 400 TWh/año³ y España, gracias a su liderazgo mundial en desalación y a la existencia de estuarios y corrientes de baja salinidad a lo largo de su litoral, cuenta con una ventana de oportunidad para posicionarse en esta industria incipiente.

¹ WORLD ECONOMIC FORUM. «How osmotic energy could generate 20% of global energy needs». Septiembre de 2025. Disponible en: <https://www.weforum.org/stories/2025/09/what-is-osmotic-energy-and-how-could-it-generate-one-fifth-of-the-world-s-energy-needs/> (consultado 11/1/2026).

² EMBER. «Global Electricity Review 2025». Abril de 2025. El consumo eléctrico mundial alcanzó 30.856 TWh en 2024. Disponible en: <https://ember-energy.org/latest-insights/global-electricity-review-2025/> (consultado 23/1/2026).

³ IRENA. «Salinity gradient energy technology brief». Junio de 2014. Disponible en: https://www.irena.org/media/Files/Publication/2014/Jun/Salinity_Energy_v4.pdf (consultado 11/1/2026).

Qué es y cómo funciona la energía osmótica

Cuando el agua dulce se mezcla con agua salada, se libera energía termodinámica —la energía libre de Gibbs de mezcla⁴—. El gradiente de salinidad entre el agua de río y el agua de mar genera una presión osmótica equivalente a una columna de agua de unos 270 metros, comparable a una gran caída hidráulica⁵.

Dos tecnologías compiten por capturar esta energía. La electrodiálisis inversa (RED)⁶ convierte el flujo de iones directamente en electricidad mediante apilamientos de membranas de intercambio iónico⁷; opera a presión atmosférica y es más eficaz con gradientes moderados, como los que existen en las desembocaduras de los ríos. La ósmosis por presión retardada (PRO)⁸ emplea membranas semipermeables para presurizar agua y accionar una turbina; rinde mejor con gradientes elevados, como los de las salmueras de desalación.

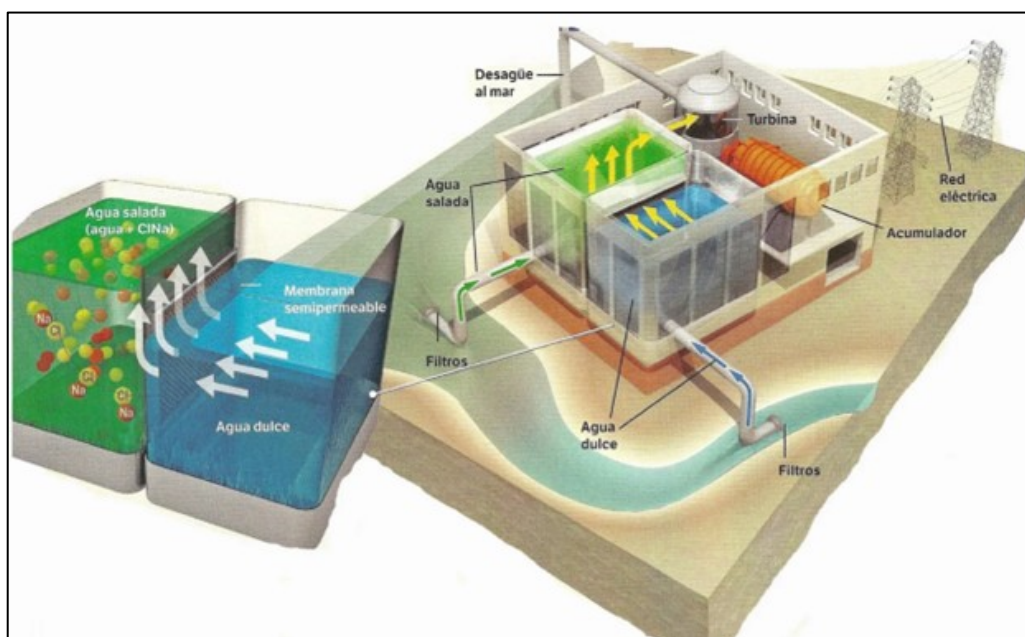


Figura 1. Esquema simplificado del sistema (PRO).
Fuente: Universidad del Norte (www.uninorte.edu.co/web/intellecta)

⁴ UNITED NATIONS. *Blue energy: Salinity gradient power in practice*. GSDR 2015 Brief. Disponible en: <https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/5734BlueEnergy.pdf> (consultado 7/1/2026).

⁵ OCEAN ENERGY EUROPE. «Salinity Gradient». Disponible en: <https://www.oceanenergy-europe.eu/ocean-energy/salinity-gradient/> (consultado 19/12/2025).

⁶ RED: Reverse Electrodialysis.

⁷ Las membranas de intercambio iónico son estructuras poliméricas que permiten el paso selectivo de cationes o aniones. Las de intercambio catiónico (CEM) permiten el paso de iones positivos como el sodio (Na^+), mientras que las de intercambio aniónico (AEM) permiten el paso de iones negativos como el cloro (Cl^-).

⁸ PRO: Pressure Retarded Osmosis.

Las membranas son el componente crítico. El umbral de viabilidad comercial se sitúa en 5 W/m² de densidad de potencia; los avances en nanomateriales bidimensionales⁹ han demostrado en laboratorio valores superiores a 20 W/m², aunque el salto a escala industrial sigue siendo un reto.

Para facilitar la lectura, se emplean cuatro magnitudes: (1) TWh/año, para comparar el potencial anual; (2) MW, para la capacidad instalada; (3) W/m², indicador clave porque determina la superficie de membrana y el CAPEX; y (4) kWh/m³ (o MJ/m³), para expresar la energía por volumen de agua procesada. Como equivalencia útil, 1 MJ $\approx$ 0,278 kWh.

Estado tecnológico actual

El prototipo de Statkraft en Noruega (2009) marcó el inicio de la era práctica de la energía osmótica¹⁰, pero alcanzó solo 1 W/m², muy lejos del umbral comercial de 5 W/m², y la empresa abandonó el proyecto en 2013¹¹.

Una década después, el panorama es otro.

REDstack (Países Bajos) opera desde 2014 una planta piloto de 50 kW en el mar de Wadden¹², con operación continua demostrada y una producción aún incipiente de hidrógeno verde¹³.

SaltPower (Dinamarca) puso en marcha en 2023 una instalación de 100 kW alimentada con salmueras industriales de alta concentración ($\approx$ 16 %)¹⁴; en el marco de su proyecto europeo, la empresa ha comunicado una estimación/objetivo de 21 EUR/MWh para ese nicho; se trata de una cifra que requiere verificación independiente y evaluación a mayor

⁹ Los nanomateriales bidimensionales más investigados para membranas osmóticas incluyen: el grafeno (láminas de carbono de un átomo de espesor), los MXenes (carburos o nitruros de metales de transición), y el nitruro de boro hexagonal (compuesto cerámico con estructura similar al grafeno).

¹⁰ POWER TECHNOLOGY. «Statkraft osmotic power plant». Disponible en: <https://www.power-technology.com/projects/statkraft-osmotic/> (consultado 19/12/2025).

¹¹ STATKRAFT. «Statkraft halts osmotic power investments». Diciembre de 2013. Disponible en: <https://www.statkraft.com/newsroom/news-and-stories/2013/Statkraft-halts-osmotic-power-investments/> (consultado 20/12/2025).

¹² REDSTACK. «Our Heritage». Disponible en: <https://www.redstack.nl/our-heritage/> (consultado 4/1/2026).

¹³ THE AFSLUITDIJK. «Blue Energy». Disponible en: <https://theafsluitdijk.com/projects/blue-energy/> (consultado 10/1/2026).

¹⁴ CORDIS. «Competitive and CO2 Free Energy from Osmotic Power-Large Scale Deployment», proyecto SaltPower, Horizon2020. Disponible en: <https://cordis.europa.eu/project/id/954045> (consultado 4/1/2026).

escala, pero que, de confirmarse, situaría la tecnología en un rango competitivo¹⁵ para aplicaciones de alta salinidad.

El primer proyecto asiático se inauguró en Fukuoka (Japón) en agosto de 2025: un sistema híbrido que combina salmuera de desalación con agua residual tratada y prevé generar 880.000 kWh/año¹⁶.

En el frente de las membranas, Sweetch Energy (Francia) lidera la innovación con su tecnología INOD¹⁷, basada en nanocanales de materiales biológicos, con densidades de potencia reportadas de 20-25 W/m² en simulaciones operativas¹⁸. La empresa ha captado financiación de Électricité de France (EDF) y Compagnie Nationale du Rhône (CNR), y su planta demostradora en el delta del Ródano busca validar el rendimiento en condiciones reales como base para un escalado industrial progresivo a lo largo de la próxima década.

Los desafíos técnicos

El ensuciamiento de membranas es el talón de Aquiles de la tecnología. La colonización por microorganismos y la precipitación de sales minerales¹⁹ pueden reducir el flujo entre un 30 % y un 60 %, acortando la vida útil de las membranas a la mitad de lo previsto. Las líneas de investigación actuales exploran recubrimientos con capacidad de autolimpieza²⁰, pero el problema está lejos de estar resuelto.

El pretratamiento del agua —filtración, cloración, ajuste de pH— representa entre el 15 % y el 25 % de los costes operativos y consume energía que se resta de la producción neta. Aquí es donde las aplicaciones híbridas con desalación presentan una ventaja

¹⁵ Nótese que 21 EUR/MWh = 0,021 EUR/kWh es apenas un 20 % del precio medio de la electricidad en la Unión Europea.

¹⁶ NEW ATLAS. «Electricity through osmosis: Japan opens landmark osmotic power plant». Agosto de 2025. Disponible en: <https://newatlas.com/energy/electricity-through-osmosis-japan-opens-worlds-second-osmotic/> (consultado 11/1/2026).

¹⁷ INOD: Ionic Nano Osmotic Diffusion (Difusión nano-osmótica iónica), una tecnología patentada por Sweetch Energy que emplea nanocanales fabricados con materiales de origen biológico.

¹⁸ SWEETCH ENERGY. «Pioneering osmotic power with INOD technology». Disponible en: <https://www.sweetch.energy/company/> (consultado 11/1/2026).

¹⁹ El biofouling es la colonización de superficies por microorganismos que forman biopelículas, mientras que el scaling es la precipitación y acumulación de sales minerales sobre las membranas.

²⁰ NATURE. «Salinity gradient induced blue energy generation using two-dimensional membranes», *npj 2D Materials and Applications*. 2024. Disponible en: <https://www.nature.com/articles/s41699-024-00486-5> (consultado 7/1/2026).

estructural: la salmuera ya ha sido pretratada, lo que elimina buena parte de estos costes y simplifica la operación.

Finalmente, persiste una brecha significativa entre el potencial teórico y el rendimiento real. La eficiencia termodinámica máxima ronda el 91 %, pero los sistemas prácticos operan en el rango del 30-40 %. La acumulación de iones en la superficie de las membranas²¹, el flujo inverso de sales y, sobre todo, el consumo de bombeo —que puede absorber entre el 20 % y el 40 % de la producción bruta— limitan la energía neta aprovechable.

Ninguno de estos obstáculos es insalvable, pero condicionan la hoja de ruta: los primeros proyectos competitivos serán aquellos que minimicen el pretratamiento y operen con gradientes elevados.

Riesgos no tecnológicos

La discusión sobre viabilidad suele centrarse en membranas y costes. Sin embargo, la experiencia en renovables marinas indica que los factores no tecnológicos —permisos, impacto ambiental, aceptación social— pueden ser tanto o más determinantes que la curva de aprendizaje²². Las estimaciones de potencial técnico se basan en supuestos hidrológicos y de gradiente salino, pero rara vez integran restricciones ecológicas ni de ordenación del litoral; el potencial realizable depende, en última instancia, de la capacidad de diseñar proyectos compatibles con la protección de los ecosistemas.

En términos ambientales, los emplazamientos más atractivos —estuarios, deltas y zonas de mezcla salobre— coinciden con áreas de alto valor ecológico, a menudo incluidas en la Red Natura 2000 o figuras de protección equivalentes²³. La extracción y retorno de caudales modifica localmente velocidades de corriente, gradientes de salinidad y, en

²¹ La polarización por concentración es un fenómeno que ocurre en la superficie de las membranas cuando los iones se acumulan o se agotan localmente, reduciendo el gradiente efectivo de concentración y, por tanto, la eficiencia del proceso.

²² OCEAN ENERGY EUROPE. *Ocean Energy: Key Trends and Statistics 2023*. Marzo de 2024. El informe identifica los retrasos en permisos y la complejidad regulatoria como barreras principales para el despliegue de energías oceánicas en la UE. Disponible en: <https://www.oceanenergy-europe.eu/>

²³ En la UE, más del 18 % de la superficie terrestre y el 9 % de los mares están incluidos en la Red Natura 2000. Muchos estuarios europeos con potencial osmótico —Rin-Mosa, Ródano, Ebro, Tajo— albergan espacios protegidos bajo las Directivas de Hábitats (92/43/CEE) y Aves (2009/147/CE).

menor medida, temperatura y turbidez. Estos cambios pueden afectar a los hábitats de transición, humedales y rutas de migración de peces, además de interactuar con presiones preexistentes (contaminación, eutrofización, dragados). Para resultar viable, un proyecto debe demostrar —mediante modelización hidrodinámica y campañas de caracterización— que el impacto es acotado y reversible, y que el diseño incorpora medidas de mitigación, como difusores de vertido, selección de puntos de captación, limitaciones estacionales y control de caudales.

El reto de permisos es igualmente relevante. A diferencia de otras tecnologías oceánicas que operan en mar abierto, la energía osmótica se sitúa en la interfaz entre competencias de energía, aguas, costas, puertos y, en ocasiones, espacios protegidos.

En España, el Real Decreto 962/2024²⁴ aporta un marco para las instalaciones renovables en el mar; no obstante, muchos proyectos osmóticos se materializarán como híbridos en infraestructuras de agua (desaladoras, EDAR²⁵, industrias salineras) o en zonas de estuario, donde confluyen autorizaciones de vertido, concesiones de agua, ocupación del dominio público marítimo-terrestre, conexión a red y evaluación de impacto ambiental. La consecuencia práctica es que la hoja de ruta tecnológica debe incluir, desde fases tempranas, una hoja de ruta regulatoria.

La aceptación social es el tercer vector. Las comunidades costeras y los sectores que dependen del estuario —como pesca artesanal, acuicultura, turismo y conservación— exigen garantías de coexistencia. La energía osmótica puede beneficiarse de dos elementos diferenciales: una huella visual limitada y la posibilidad de asociarse a servicios públicos, como el abastecimiento de agua o el tratamiento de efluentes²⁶. En particular, las configuraciones híbridas con desalación convierten un residuo (la salmuera) en un cobeneficio visible: reducir el consumo eléctrico neto en la producción de agua y, simultáneamente, disminuir la salinidad del vertido. Comunicar estos

²⁴ BOE. Real Decreto 962/2024, de 24 de septiembre, por el que se regula la producción de energía eléctrica a partir de fuentes renovables en instalaciones ubicadas en el mar. Disponible en: <https://www.boe.es> (consultado 4/1/2026).

²⁵ EDAR (Estación Depuradora de Aguas Residuales): Instalaciones que tratan y depuran aguas residuales urbanas o industriales mediante procesos físicos, químicos y biológicos, eliminando contaminantes antes de su vertido o reutilización.

²⁶ Los efluentes son las corrientes de salida de un proceso industrial o de tratamiento de aguas. En el contexto de la energía osmótica, se refiere principalmente a las aguas residuales tratadas que pueden utilizarse como fuente de agua dulce.

cobeneficios y establecer mecanismos de monitorización transparentes resulta decisivo para construir legitimidad.

Desde la perspectiva del diseño de proyecto, existen estrategias para reducir la fricción ambiental y regulatoria: priorizar emplazamientos industriales ya antropizados²⁷, con captaciones y emisarios existentes; utilizar corrientes de baja salinidad disponibles (agua regenerada) en lugar de nuevas captaciones fluviales; dimensionar de forma modular y reversible, lo que facilita pilotos y aprendizaje; y comprometer programas de seguimiento con indicadores biológicos e hidrológicos.

La publicación de datos de operación en formatos abiertos puede acelerar tanto la verificación independiente como la confianza institucional.

En síntesis, la energía osmótica no compite solo en W/m^2 o en €/MWh: compite también en la capacidad de ejecución. Los proyectos que avancen primero serán aquellos que integren, desde el anteproyecto, ingeniería, permisos, evaluación ambiental y diálogo público —tal como se ha aprendido, no sin dificultades, en eólica marina—.

La energía osmótica en España

España reúne condiciones singulares para este sector emergente: una infraestructura de desalación sin equivalente en Europa y un tejido empresarial con experiencia a nivel global en tecnologías de membrana.

El país cuenta con más de 765 plantas desaladoras que producen unos cinco millones de $m^3/día$, situándolo entre los cinco primeros del mundo en capacidad instalada. La planta de Torrevieja ($240.000 m^3/día$) es una de las mayores de Europa. Empresas como Acciona Agua, Aqualia, Cadagua, Sacyr Agua y Tedagua lideran el sector a escala global, con presencia en mercados que van desde Arabia Saudí hasta Australia. Por ahora, la iniciativa más avanzada es LIFE HYREWARD; el resto del ecosistema dispone de las capacidades técnicas —membranas, ingeniería de procesos, operación de plantas—,

²⁷ Usado comúnmente en textos de ecología y ordenación del territorio. De antrópico (RAE), producido o modificado por la actividad humana.

pero la entrada en este segmento aún es incipiente. El espacio para el posicionamiento industrial sigue abierto.

La salmuera de rechazo²⁸ de estas instalaciones presenta concentraciones de 60-80 g/L, aproximadamente el doble que el agua de mar, lo que incrementa significativamente la energía de mezcla disponible. Los sistemas híbridos permiten recuperar parte de la energía consumida en desalación y, simultáneamente, diluir la salmuera antes del vertido, reduciendo su impacto ambiental. Esta doble ventaja —energética y ambiental— convierte a las desaladoras españolas en plataformas naturales para proyectos piloto.

El proyecto LIFE HYREWARD, liderado por Sacyr Agua con REDstack y Pure Water Group, es la iniciativa española más avanzada. Con 2,2 millones de euros del programa LIFE (2021-2025), ha instalado un sistema piloto de RED en la desaladora de Alicante que ya produce electricidad²⁹. Una segunda fase, en Alcudia (Mallorca), utilizará efluentes de depuradora como fuente de baja salinidad. Los resultados preliminares apuntan a una recuperación de hasta el 20 % de la energía consumida en ósmosis inversa³⁰.

El potencial fluvial es más modesto, pero no desdeñable: el Ebro, con caudales de 300-600 m³/s en su desembocadura, ofrece las mejores perspectivas, seguido por el Miño y el Guadalquivir. La estimación conservadora para fuentes exclusivamente fluviales ronda los 500-1.000 MW teóricos —un complemento a medio plazo, no el punto de partida—.

El marco regulatorio incluye el Real Decreto 962/2024, que regula la producción renovable en instalaciones marinas, y la Hoja de Ruta de Energías del Mar (2021), que fija un objetivo de 40-60 MW para 2030³¹.

²⁸ La salmuera de rechazo es el efluente (corriente de salida) de alta concentración salina que se produce en las plantas desaladoras tras el proceso de ósmosis inversa. Contiene aproximadamente el doble de sal que el agua de mar original.

²⁹ PURE WATER GROUP. «Blue Energy: The topic of the new LIFE HYREWARD project». 2021. Disponible en: <https://purewatergroup.com/blue-energy-the-topic-of-the-new-life-hyreward-project-by-redstack-pure-water-group-and-sacyr-water/> (consultado el 3/1/2026).

³⁰ RO: Reverse Osmosis (ósmosis inversa), el proceso de desalación más extendido comercialmente.

³¹ MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO. «Hoja de Ruta para el Desarrollo de la Eólica Marina y de las Energías del Mar en España». Diciembre de 2021.

La dimensión estratégica

Desde la perspectiva de seguridad energética, la energía osmótica ofrece algo que escasea en el mix renovable: una generación predecible. Frente a la variabilidad de la solar y la eólica, puede proporcionar un perfil de producción estable siempre que exista un gradiente de salinidad sostenido. Esta capacidad de aportar energía de alta disponibilidad —en determinados emplazamientos y configuraciones híbridas— la convierte en complemento natural para sistemas eléctricos con alta penetración de renovables variables, reduciendo necesidades de almacenamiento y contribuyendo a la estabilidad de la red³².

La dependencia de materias primas críticas es mínima, un contraste radical con la fotovoltaica, donde China controla más del 90 % de la cadena de suministro de módulos y el 97 % de la producción de obleas³³. Las membranas osmóticas pueden fabricarse con polímeros convencionales, fibras de celulosa y materiales de origen biológico, todos disponibles en Europa.

Las empresas europeas lideran el desarrollo: Sweetch Energy (Francia), REDstack (Países Bajos) y SaltPower (Dinamarca) encabezan la innovación, junto con los fabricantes de membranas de Alemania y Países Bajos. La asociación OE4EU³⁴, creada en Bruselas, promueve el desarrollo regulatorio a nivel comunitario. En cuanto a emplazamientos, los de mayor potencial se sitúan en el delta del Rin-Mosa, el Ródano y los fiordos noruegos, aunque —como se ha visto— las primeras instalaciones comerciales están apostando por configuraciones híbridas con salmueras industriales antes que por grandes proyectos en estuarios.

El marco europeo acompaña esta oportunidad. La Estrategia de Energía Renovable Marina³⁵ (2020) fija objetivos de 1 GW de energía oceánica para 2030 y 40 GW para

³² EARTH•ORG. «Osmotic power: The next wave of renewable energy». Disponible en: <https://earth.org/osmotic-power-the-next-wave-of-renewable-energy/> (consultado el 3/1/2026).

³³ Las obleas, o *wafers*, son láminas delgadas que sirven de base para fabricar las células solares, cortadas de lingotes de silicio cristalino.

³⁴ OE4EU (Osmotic Energy for Europe) es una asociación industrial creada en Bruselas que agrupa a las principales empresas europeas del sector (Sweetch Energy, REDstack, SaltPower, CNR) para promover el desarrollo regulatorio de la energía osmótica a nivel comunitario.

³⁵ COMISIÓN EUROPEA. «An EU strategy on offshore renewable energy». COM (2020) 741 final, noviembre de 2020.

2050; la Directiva RED III (2023) agiliza permisos para renovables³⁶; y el Reglamento NZIA incluye las tecnologías oceánicas entre las estratégicas cuyo escalado es prioritario³⁷.

La energía osmótica queda así encuadrada, junto con la mareomotriz³⁸, la undimotriz³⁹ y la térmica oceánica⁴⁰, en el perímetro de las «energías del mar».

Comparada con estas, la osmótica presenta ventajas específicas. La eólica marina está más madura (19 GW en la UE), pero es variable; la mareomotriz es predecible pero geográficamente limitada; la undimotriz sigue en demostración, con costes elevados. La energía osmótica destaca por su potencial de alta disponibilidad, su huella visual reducida y su menor exposición a temporales cuando se ubica en entornos costeros protegidos o se integra en instalaciones industriales.

En este contexto, España debería priorizar un despliegue por etapas centrado en aplicaciones híbridas y validación operativa.

Conclusión: una ventana de oportunidad

La energía osmótica ha recorrido, en quince años, el camino desde el laboratorio hasta las primeras instalaciones comerciales. El prototipo de Statkraft (2009) apenas alcanzaba 1 W/m²; hoy, varios desarrolladores reportan densidades de 20-25 W/m², y los proyectos de SaltPower en Dinamarca y el sistema híbrido de Fukuoka, en Japón, demuestran que la tecnología puede operar en condiciones reales. Queda por ver si estas cifras se consolidan a mayor escala y con operación prolongada, pero la tendencia es inequívoca.

³⁶ Directiva (UE) 2023/2413 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 18 de octubre de 2023, por la que se modifica la Directiva (UE) 2018/2001 (RED III).

³⁷ NZIA: Net-Zero Industry Act, marco regulatorio europeo para el desarrollo de tecnologías limpias.

³⁸ La energía mareomotriz es una forma de energía renovable que aprovecha el movimiento de subida y bajada de las mareas para generar electricidad mediante turbinas y generadores. Las centrales mareomotrices pueden ser reversibles, aprovechando tanto la entrada de agua en marea alta como su salida en marea baja, ya que las turbinas funcionan en ambos sentidos.

³⁹ La energía undimotriz, también llamada energía de las olas u olamotriz, es una forma de energía renovable que aprovecha el movimiento de las olas del mar para producir electricidad u otros trabajos útiles (como bombeo o desalación). Usa la energía mecánica y cinética del oleaje superficial, es decir, procede del viento que sopla sobre la superficie del mar.

⁴⁰ OTEC: Ocean Thermal Energy Conversion (conversión de energía térmica oceánica), tecnología que aprovecha la diferencia de temperatura entre las aguas superficiales cálidas y las profundas frías.

Las proyecciones de coste apuntan a 100 EUR/MWh hacia 2030 en configuraciones bien seleccionadas, con tasas de aprendizaje del 15-20 % por duplicación de capacidad —comparables a las primeras etapas de la fotovoltaica⁴¹—. En nichos de alta salinidad, algunas estimaciones son aún más optimistas. De confirmarse, la energía osmótica entraría en rango competitivo con otras fuentes gestionables antes de que termine la década. El condicionante principal sigue siendo la durabilidad de las membranas y la reducción de los costes de pretratamiento y bombeo.

Para Europa, la energía osmótica ofrece una combinación infrecuente: generación estable que complementa la variabilidad de la solar y la eólica, dependencia mínima de materias primas críticas —en contraste con la concentración asiática en fotovoltaica y baterías— y una cadena de valor donde las empresas europeas parten con ventaja antes de que se consoliden las dominancias globales. Ese es el contexto en el que conviene leer el caso español: no como una apuesta aislada, sino como una oportunidad de capturar capacidades industriales exportables en una tecnología todavía en fase temprana.

España tiene una oportunidad concreta de participar en ese desarrollo. Su liderazgo en desalación proporciona infraestructura, conocimiento técnico y un tejido empresarial con proyección global. El camino más realista pasa por escalar los resultados de LIFE HYREWARD hacia plantas de demostración, desarrollar estudios de viabilidad para el delta del Ebro con evaluación ambiental integrada, y establecer directrices para incorporar módulos osmóticos en nuevas desaladoras o ampliaciones de las existentes. A medio plazo, una primera planta comercial híbrida —posiblemente asociada a la ampliación de Torrevieja— podría posicionar al país para exportar tecnología y conocimiento al Norte de África y Oriente Medio, mercados donde coinciden grandes necesidades de desalación y potencial de energía azul.

Los escépticos tienen argumentos legítimos: la energía osmótica lleva décadas en fase de promesa, Statkraft ya fracasó una vez, y el capital inversor puede encontrar opciones más maduras en solar, eólica o almacenamiento.

⁴¹ La tasa de aprendizaje es un indicador que mide la reducción porcentual de costes cada vez que se duplica la capacidad instalada acumulada de una tecnología. Para la energía solar fotovoltaica, esta tasa ha sido históricamente del 20-25 %.

Nada de esto está garantizado. La energía osmótica sigue siendo una apuesta de alto riesgo tecnológico y a largo plazo. Pero las apuestas que se hacen cuando una tecnología aún no ha madurado son, precisamente, las que permiten capturar valor estratégico. Europa lo aprendió —tarde y a un coste elevado— con la fotovoltaica. Las energías del mar abren una nueva partida; para España, la cuestión es si quiere jugarla como comprador de tecnología o como actor industrial. Para un país con vocación marítima, pocas oportunidades encajan mejor.

*Tomás García-Figueras**

Capitán de Navío

Diplomado de Estado Mayor por el US Naval War College