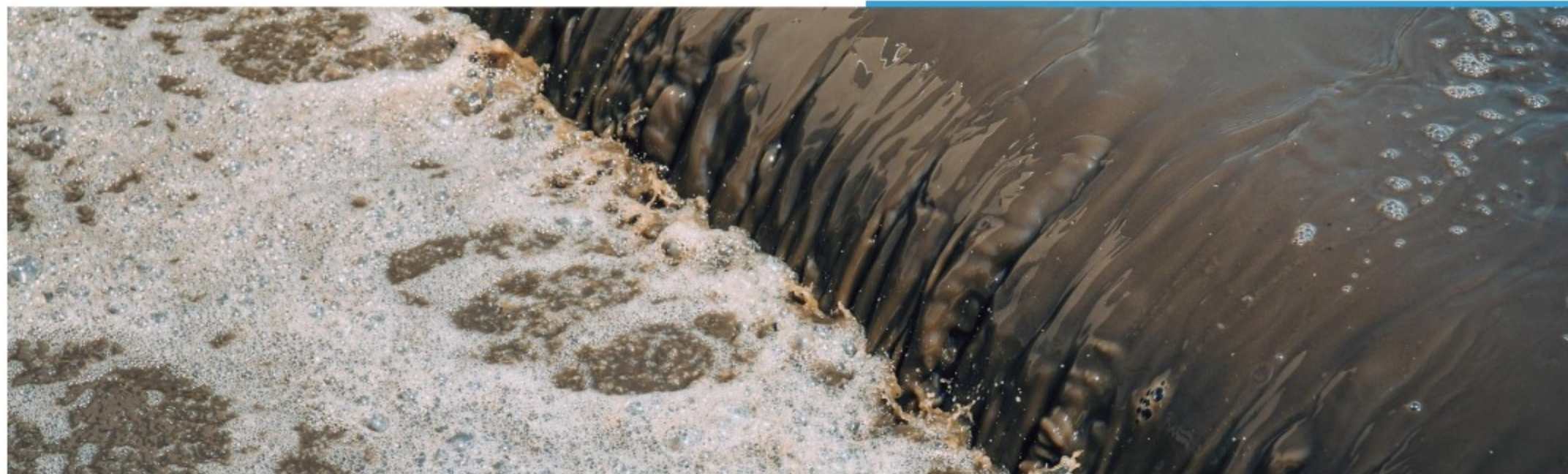


Prospectiva de la ósmosis directa y sus aplicaciones como complemento al tratamiento y regeneración de aguas residuales

N. Melián-Martel¹, Juan A. de la Fuente Boncomo²

¹Universidad de Las Palmas de Gran Canaria | www.ulpgc.es • ²Instituto Tecnológico de Canarias (ITC) | www.itc.canarias.org
Entidades socias de la Plataforma de I+D+i DESAL + LIVING LAB | www.desalinationlab.com



El crecimiento exponencial de la población mundial, los efectos del cambio climático y el aumento en las tendencias de consumo de agua y energía exigen un compromiso entre los recursos hídricos y energéticos disponibles. En este contexto, la desalación de aguas y la regeneración de aguas residuales constituyen un recurso hídrico alternativo indispensable en cualquier planificación hidrológica.

El desarrollo tecnológico de los procesos de membrana dentro del sector

del tratamiento de aguas residuales urbanas e industriales afronta importantes retos y se encuentra en plena evolución tecnológica. En este sentido, la Ósmosis Directa (OD), o Forward Osmosis (FO) en terminología inglesa, ha comenzado a emerger a escala comercial de forma alternativa o complementaria a los procesos convencionales de tratamiento de aguas en general y en particular en la regeneración de aguas residuales.

La OD es una tecnología de membranas considerada emergente, que puede tratar dos soluciones al mismo

tiempo, aprovechando la diferencia de presión osmótica generada entre una solución más concentrada, conocida como solución extractora o de arrastre y otra solución más diluida, denominada como solución de alimentación. Esta diferencia de presión osmótica provoca la difusión del agua a través de una membrana semipermeable desde la solución de alimentación hasta la solución extractora (1). Como consecuencia de este proceso, la solución extractora se va diluyendo, disminuyendo así su presión osmótica ($\Delta\pi$)

LA **ÓSMOSIS DIRECTA (OD)** HA COMENZADO A EMERGER A ESCALA COMERCIAL DE FORMA ALTERNATIVA O COMPLEMENTARIA A LOS PROCESOS CONVENCIONALES DE TRATAMIENTO DE AGUAS EN GENERAL Y EN PARTICULAR EN LA REGENERACIÓN DE AGUAS RESIDUALES ●

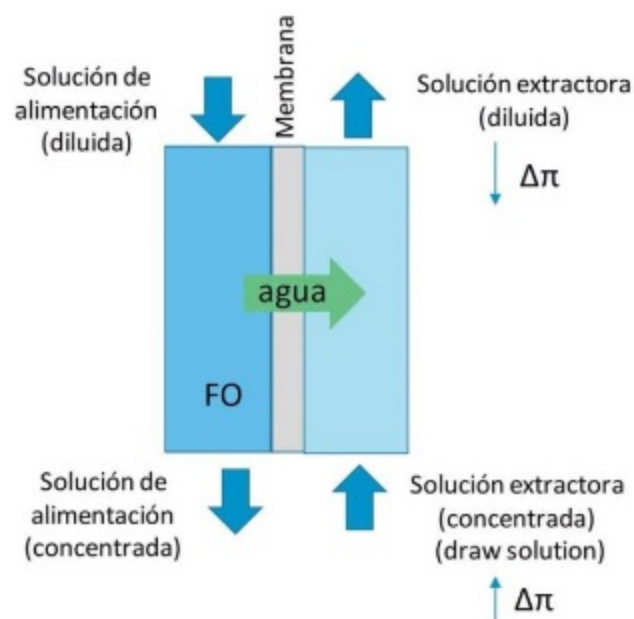


Figura 1. Esquema del proceso de la ósmosis directa (Elaboración propia)

la OD en el año 1975, el nivel de interés y el potencial de esta tecnología queda reflejado en el número de artículos científicos publicados. En general se observa una tendencia creciente desde el año 1999 hasta la actualidad donde se han documentado más de 7000 publicaciones relacionadas con la OD entre las que se incluyen más de 1500 artículos científicos (3). El aumento exponencial en la última década puede estar asociado a la aparición de las primeras membranas comerciales de OD lo que ha permitido su uso en diferentes estudios de aplicación entre investigadores y profesionales del sector, así como la puesta en marcha de la primera planta de OD del mundo ubicada en Omán en el año 2012 destinada a la desalación de agua de mar con una capacidad de 200 m³/día.

Los países más productivos en este sentido son: Estados Unidos, China, Singapur, Australia y Corea del Sur (4). No obstante, a pesar de los avances y la amplia investigación en este campo, existen dos grandes retos de carácter general que hacen que la OD no sea una realidad a escala industrial.

Por una parte, el reto asociado al rendimiento de la membrana, ya que se han reportado problemas asociados con la polarización interna de la concentración, la resistencia mecánica y química, flujos transmembrana bajos, etc. En este sentido, se han desarrollado diferentes configuraciones: módulos de pila de membranas planas (plate-frame), membranas de arrollamiento en espiral, membranas tubulares, aunque las más comunes son las membranas planas y de fibra hueca. En cuanto a los materiales más utilizados para la fabricación de estas membranas se encuentra el triacetato de celulosa aunque existen membranas avanzadas de OD de película delgada compuesta de poliamida aromática, biomiméticas (acuapo-

hasta llegar a igualarse a la de alimentación (1). En ese momento se ha llegado al equilibrio osmótico, cesando el flujo de agua. En la Figura 1 se muestra un esquema del proceso.

El interés que ha suscitado esta tecnología de membranas se debe principalmente a sus condiciones de operación, dado que no requiere de ninguna presión externa (la fuerza impulsora es el propio gradiente de presión osmótica), ni temperaturas elevadas.

Esta característica la convierte en una tecnología con un potencial sumamente prometedor ya que minimiza los inconvenientes de los tradicionales tratamientos de membrana presurizados como puede ser la Ósmosis Inversa (OI). Entre las ventajas de esta tecnología destaca: (i) su bajo consumo energético, (ii) su menor tendencia al ensu-

ciamiento de las membranas, lo que proporciona una mayor flexibilidad y aplicabilidad, así como una mayor facilidad de limpieza derivada de ésta (iii) tasas de recuperación de agua elevadas, (iv) alto rechazo de sales, (v) menores costes de operación (2).

Esta particularidad hace de la OD una tecnología con un amplio nicho de aplicaciones entre las que destacan, el tratamiento y la regeneración de aguas residuales, la desalación de agua de mar y salobre, el tratamiento de efluentes industriales complejos como pueden ser los lixiviados de vertederos, la concentración de zumos y productos farmacéuticos.

ESTADO DEL ARTE DE LA FO

Desde las primeras aplicaciones de



rinás), o membranas con aditivos como nanotubos, nanopartículas, grafeno, zeolitas, etc.

Por otra parte, existe la problemática de la regeneración de las soluciones de extracción u osmóticas ya que en el proceso se diluyen y es necesario un proceso en tándem para reconcentrarlas y reintroducirlas en el proceso, lo que implica un extra en el consumo energético.

APLICACIONES AL TRATAMIENTO Y REUTILIZACIÓN DE AGUAS RESIDUALES

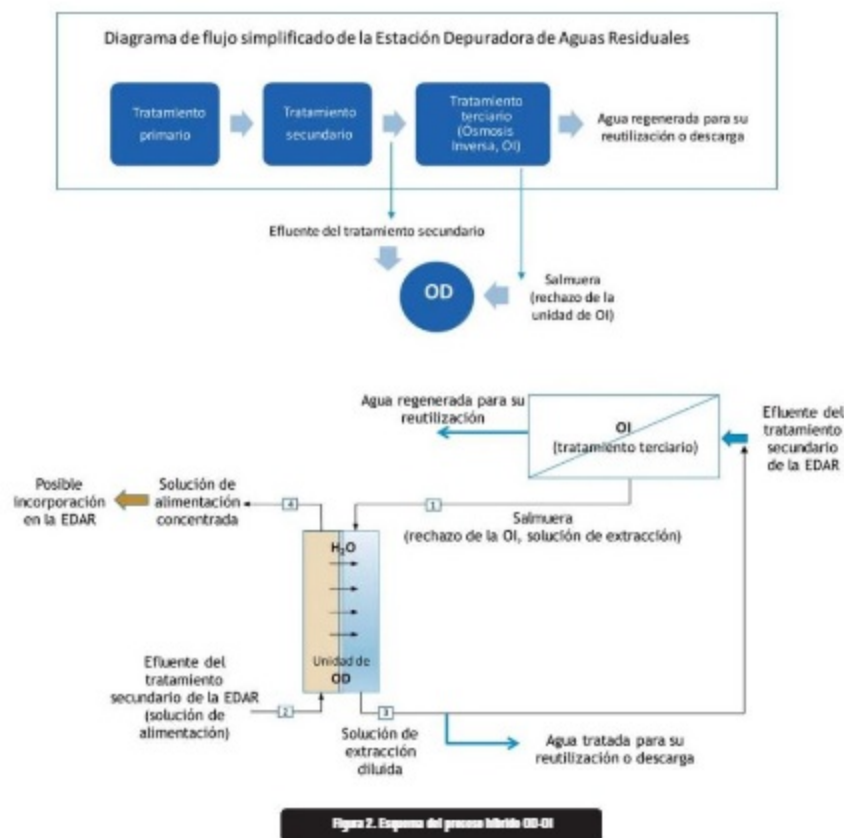
La OD se ha aplicado en el tratamiento y regeneración de distintas corrientes de aguas residuales entre las

que destaca: (i) la integración de la OD con biorreactores de membrana aeróbicos, (ii) la integración de la OD con biorreactores anaeróbicos para el tratamiento de las aguas residuales, la producción de biogás y recuperación de nutrientes, (iii) pre concentración del agua residual antes de la digestión anaeróbica y (iv) sistemas híbridos OD con otros sistemas de membrana como es la nanofiltración, la ósmosis inversa, la destilación por membrana o la electrodiálisis (5). Como resultado, estos sistemas híbridos tienen el potencial de producir un efluente de mayor calidad y reconcentrar las soluciones de extracción u osmóticas, mejorando la eficiencia energética del proceso, en comparación con el tratamiento de las aguas residuales direc-

tamente con los procesos de membrana convencionales comentados.

Bajo estas premisas, en el marco del proyecto DESAL+ se pretende instalar un piloto de OD con OI de agua salobre con el objeto principal de incrementar el porcentaje de agua residual en un terciario de depuradora. Dicha demo estará destinada a la investigación y demostración en el tratamiento terciario de la Estación Depuradora de Aguas Residuales (EDAR) de la Mancomunidad Inter municipal del Sureste de Gran Canaria.

El proyecto DESAL+, cofinanciado con fondos FEDER en el marco del Programa Interreg MAC 2014-2020, se enmarca en la Plataforma DESAL+ LIVING LAB. Tiene como objetivo general crear y consolidar una plataforma



La OD se presenta como una tecnología prometedora y que aspira a jugar un papel importante en la sostenibilidad del tratamiento y la regeneración de aguas residuales

conjunta de I+D+i en la Macaronesia con altas capacidades e infraestructura de investigación de excelencia internacional en materia de desalación de agua, del conocimiento del nexo agua-energía y del uso exclusivo de energías renovables.

La planta piloto de OD tendrá una capacidad de producción mínima de 0,40 m³/h. El sistema persigue tratar la salmuera (corriente de rechazo) procedente del tratamiento terciario por OI de la EDAR (solución osmótica) con el efluente del tratamiento secundario de la misma EDAR (solución de alimentación). Como corrientes de salidas se obtendrán una salmuera diluida que podrá ser reutilizada, vertida, o recirculada a la alimentación del sistema de OI del tratamiento terciario, y una solución de alimentación concentrada que se incorporará a la EDAR (dependiendo de la calidad final). El esquema del proceso se muestra en la Figura 2.

PROSPECTIVA DE LA OD

Con el objeto de seguir avanzando y plantear nuevos retos relacionados con el desarrollo de esta tecnología, es de suma importancia comprender las tendencias de investigación. Según dos estudios bibliométricos recientes, los temas de investigación de mayor tendencia en el campo de la OD son (3; 4):

- (i) La fabricación de nuevas membranas utilizando materiales novedosos como nanomateriales o la modificación de membranas para mejorar el rendimiento (más productivas, más estables mecánicamente y químicamente, con alta hidrofiliicidad y permeabilidad y baja polarización interna de la concentración)
- (ii) Análisis del fenómeno del ensuciamiento, operaciones de limpieza y condiciones de operación.
- (iii) Exploración de nuevas soluciones osmóticas capaces de generar elevadas presiones osmóticas pero

que a su vez presenten un bajo coste de regeneración y reconcentración.

(iv) Identificación de nuevas aplicaciones y nichos de mercado que podrían ser sistemas híbridos que permitan resaltar las ventajas de la OD frente a otras tecnologías.

CONCLUSIONES

La OD se presenta como una tecnología que promete jugar un papel importante en la sostenibilidad del tratamiento y la regeneración de aguas residuales.

La comunidad científica y las empresas han realizado numerosos esfuerzos de investigación en los últimos años en el campo de la OD, tecnología emergente que, con suerte podría alcanzar el objetivo de proporcionar agua dulce de alta calidad o la valoración de residuos líquidos con una reducción significativa de los costes energéticos.

Sin embargo, aún queda mucho por hacer, debido a que la tecnología aún no ha alcanzado su grado de madurez. Se espera que la investigación futura de OD se centre en el desarrollo de nuevas

membranas y nuevas soluciones extractoras capaces de generar elevadas presiones osmóticas que requieran un consumo energético mínimo para su regeneración y reconcentración.

En este artículo se ha destacado una amplia gama de posibles aplicaciones de la OD en el tratamiento y regeneración de aguas residuales. Así mismo, se presentan las líneas de interés de mayor desarrollo como hoja de ruta de investigación.

Se espera que la investigación siga madurando, mientras tanto, el potencial de la OD tiene un mayor protagonismo en sistemas híbridos como puede ser la combinación OD-OI ya que, entre otros factores, mejora la eficiencia energética del proceso.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido cofinanciado por fondos FEDER, Programa Interreg MAC 2014-2020, en el marco del proyecto DESAL+ (MAC/1.1a/094).

Referencias

1. F. X. Simón Font, J. Ballester Bonet, J. Ballester Bonet, J. García Montaño, Ósmosis directa: proceso y aplicaciones. *Tecnogua 7* (2014) 53-59.
2. M. Qasim, N. A. Darwish, S. Sarp, Nidal Hilal. Water desalination by forward (direct) osmosis phenomenon: A comprehensive review. *Desalination 374* (2015) 47-69.
3. W. Suwailih, N. Pathak, H. Shon, N. Hilal. Forward osmosis membranes and processes: A comprehensive review of research trends and future outlook. *Desalination 485* (2020) 114455.
4. W.L. Ang, A. W. Mohammad, D. Johnson, N. Hilal. Forward osmosis research trends in desalination and wastewater treatment: A review of research trends over the past decade. *Journal of Water Process Engineering 31* (2019) 100886.
5. A. J. Ansari, F. I. Hai, W. E. Price, J.E. Drewes, I. D. Nghiem. Forward osmosis as a platform for resource recovery from municipal wastewater - A critical assessment of the literature. *Journal of Membrane Science 529* (2017) 195-206. ●