



# Procesos y tecnología para la desalinización del agua

<b>Apellidos, nombre</b>	Martínez Guijarro M <sup>a</sup> Remedios (mmarting@hma.upv.es)
<b>Departamento</b>	Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente
<b>Centro</b>	Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Caminos Canales y Puertos Universitat Politècnica de València

## 1 Resumen de las ideas clave

En este objeto de aprendizaje se realiza una breve introducción acerca de:

- La clasificación del agua en función de su contenido en sales (salada y dulce)
- El déficit de recursos hídricos (de agua dulce) para abastecer las necesidades de la sociedad actual.
- La desalinización como solución al déficit de agua dulce

De manera más específica se muestran algunas sistemas y procesos para la producción de agua dulce partir de agua salada.

## 2 Objetivos

Una vez que el alumno se lea con detenimiento este documento, será capaz de:

- Identificar las distintas clases de agua en función de su contenido en sales
- Nombrar los sistemas para la producción de agua desalinizada
- Definir de forma general la tecnología para la obtención de agua desalinizada

## 3 Introducción

El agua, conocida como el disolvente universal, contiene elementos disueltos (magnesio, sodio, potasio, carbonato, bicarbonato, nitrato, etc.) que ha incorporado a lo largo de su ciclo hidrológico. El agua al discurrir por las diferentes capas del suelo disuelve las sales que encuentra a su paso, incorporando elementos disueltos que pasan a formar parte del agua [1]. Este contenido de sales disueltas da lugar a un parámetro, la **Salinidad**, que se define como la medida de la masa de sales disueltas en una masa de agua dada. La salinidad puede expresarse como contenido de sales disueltas en gramos/Litro o bien mediante medidas de conductividad eléctrica expresadas en unidades de mmhos/cm o mSiemens/cm.

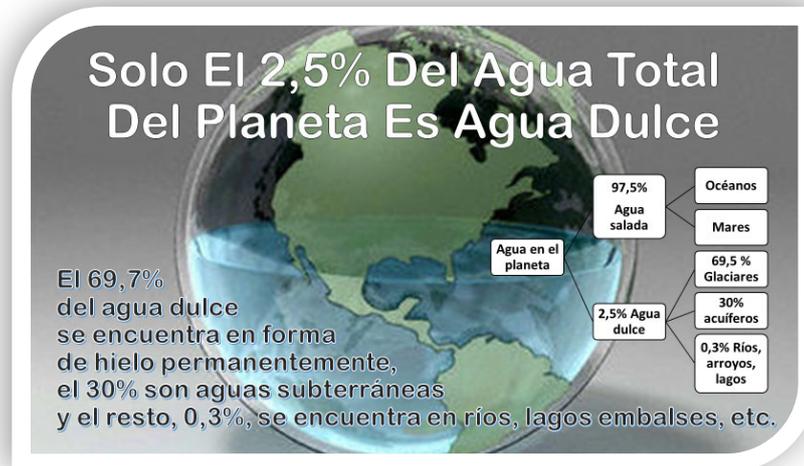
La salinidad es un parámetro que clasifica al agua en función de su valor (Tabla 1) y determina los posibles usos del agua. Así tenemos aguas de manantial de montaña con 0,2 g/L de sales, agua de mar con más de 30 g/L, aguas salobres con concentraciones de sales entre 3 y 30 g/L, y las salmueras que sobrepasan los 45 g/L de sales [1].

<i>Tipo de agua</i>	<i>Contenido en sales</i>
dulce	0,3-3 g/L
salobre	3-10 g/L
Muy salobre	10-30 g/L
Marina	> 30 g/L

Tabla 1. Clasificación del agua en función de su contenido en sales [1]

El agua dulce es un recurso limitado con un gran desequilibrio entre la disponibilidad y la demanda que el modelo actual de desarrollo exige. La contaminación, la sobreexplotación,

las alteraciones físicas de los hábitats y el cambio climático alteran y reducen la calidad y la disponibilidad del agua. Este déficit hídrico en determinadas zonas de España (Canarias, Baleares, litoral Mediterráneo) es un fenómeno crónico que promueve una demanda más racional y optimizar la oferta [2].



Ante la escasez de agua dulce en determinadas zonas, se pueden realizar acciones que remedien esta escasez mediante (i) la optimización del consumo (evitando pérdidas y despilfarros, modernizando regadíos, etc.), (ii) el aumento de la disponibilidad de agua dulce mediante trasvases, reutilizando aguas residuales tratadas y **desalinizando aguas salobres y marinas** [1].

Este último proceso, la desalinización, consiste en una serie de actuaciones para eliminar o disminuir los niveles de minerales disueltos (sales) y otros compuestos o sustancias indeseables presentes en las aguas marinas y salobres, para obtener agua aprovechable, tanto para abastecimiento humano, como para riego y usos industriales [3]. Teniendo en cuenta que en el planeta la mayor parte del agua corresponde a agua salada, las técnicas de desalinización pueden solucionar el problema de déficit de agua en algunas zonas del planeta.

## Desalación o desalinización, ¿Cuál es el término correcto?

### Desalar:

Quitar la sal a algo, como a la cecina, al pescado salado, etc.

### Desalinizar:

Quitar la sal del agua del mar o de las aguas salobres, para hacerlas potables o útiles para otros fines

Real Academia de la Lengua Española  
<https://dle.rae.es/desalar?m=form>

El diccionario académico define **desalar** como 'quitarle la sal a algo' por lo que esta definición podría referirse perfectamente al agua. La segunda acepción de desalar significa, además, **desalinizar**, un verbo mucho más específico cuyo sentido es 'quitar la sal del agua del mar o de las aguas salobres, para hacerlas potables o útiles para otros fines'. Por tanto, puede decirse que *desalar* y *desalinizar* son sinónimos en esta acepción. Así, se puede hablar tanto de *agua desalada* como *desalinizada* y de *plantas desaladoras* y *desalinizadoras*. Pero nunca de «desalinizar un bacalao» porque este verbo es mucho más específico y su empleo está restringido solo al agua.

FundéuRAE <https://www.fundeu.es/recomendacion/desalinizadora/>

Para que la desalinización de agua marina sea la mejor solución a la falta de agua dulce en determinadas zonas, hay que conseguir que el coste de producción de agua desalada sea competitivo con otros recursos. Es decir, hay que seguir investigando para conseguir mejores resultados tanto en aspectos tecnológicos, que ayuden a minimizar el consumo energético que conlleva la desalinización del agua, como medioambientales, reduciendo y controlando los impactos directos por el vertido de salmueras e indirectos debidos a la emisión de gases invernadero generados en la producción de energía necesaria para el proceso de desalinización [2].

## 4 Desarrollo

En este apartado se muestran los principales sistemas para la desalinización de agua y se realiza una descripción general de los más utilizados.

Existen varios procesos y tecnologías para la desalinización del agua (Tabla 2). De todos los procesos disponibles se pueden hacer 2 grandes grupos:

- (i) procesos térmicos, aquellos que producen la desalinización del agua por evaporación/destilación;
- (ii) procesos mediante membranas, como la ósmosis inversa y la electrodiálisis.

	<i>ENERGÍA UTILIZADA</i>	<i>PROCESO</i>	<i>TECNOLOGÍA</i>
<i>Cambio de fase</i>	Térmica	Evaporación	Compresión térmica de vapor
			Destilación por múltiple efecto
			Destilación súbita (flash)
			Destilación solar
		Filtración y Evaporación	Destilación con membranas
		Cristalización	Congelación
<i>Sin cambio de fase</i>	Mecánica	Evaporación	Compresión mecánica de vapor
		Filtración	Ósmosis inversa
	Eléctrica	Filtración selectiva	Electrodiálisis
	Química	Intercambio	Intercambio iónico

Tabla 2. Procesos y tecnología para la desalinización del agua [4]

## 4.1 Procesos térmicos

Los procesos térmicos imitan el ciclo natural del agua. Para ello es necesario calentar el agua hasta producir vapor que, tras la condensación de éste se obtiene el agua desalinizada.

Algunos sistemas de desalinización que se basan en procesos térmicos son los siguientes:

**Destilación por compresión mecánica de vapor (MVC), (Fig. 1a):** en este sistema se aporta calor al agua salada mediante vapor comprimido. De esta forma, el agua se evapora y es posteriormente recolectada. El calor que se ha aportado se recicla para ser nuevamente utilizado con el agua de alimentación restante. El vapor comprimido utilizado se consigue por medios mecánicos accionados por electricidad en la mayoría de los casos. [5].

**Destilación flash multietapa (MSF), (Fig. 1b):** la desalinización Instantánea Multietapa (MSF por sus siglas en inglés), consiste en vaporizar el agua a desalar mediante una reducción brusca de la presión. El agua salada estará inicialmente a una temperatura algo inferior a su punto de ebullición, con lo cual al reducirse la presión se reduce también la temperatura de ebullición y se producirá una cantidad de vapor. Esto se repite en etapas sucesivas en las que en cada reducción de presión se produce vapor por ebullición flash. La capacidad de producir agua desalada por este sistema es igual a la suma de todos los condensados que se han obtenido en cada etapa [6]

**Destilación multiefecto (MED), (Fig. 1c):** en este sistema, el agua a tratar se lleva a ebullición mediante tubos intercambiadores de calor en una serie de etapas sucesivas. En cada una de estas etapas la temperatura a la que se lleva el agua es más baja que la anterior debido a que se opera a una presión menor de forma secuencial, así la cantidad de energía consumida se reduce. El conjunto de procesos ebullición-condensación permite obtener agua aprovechable para diversos usos. De los procesos térmicos comentados, este sistema es el que produce agua desalada de forma más eficiente desde el punto de vista de consumo de energía ya que solo es necesario aplicar calor externo en la primera etapa porque en las siguientes se aprovecha el vapor generado en la etapa previa. Este sistema además permite variaciones en la calidad del agua salada y elimina la necesidad de un pretratamiento del agua de alimentación [5].

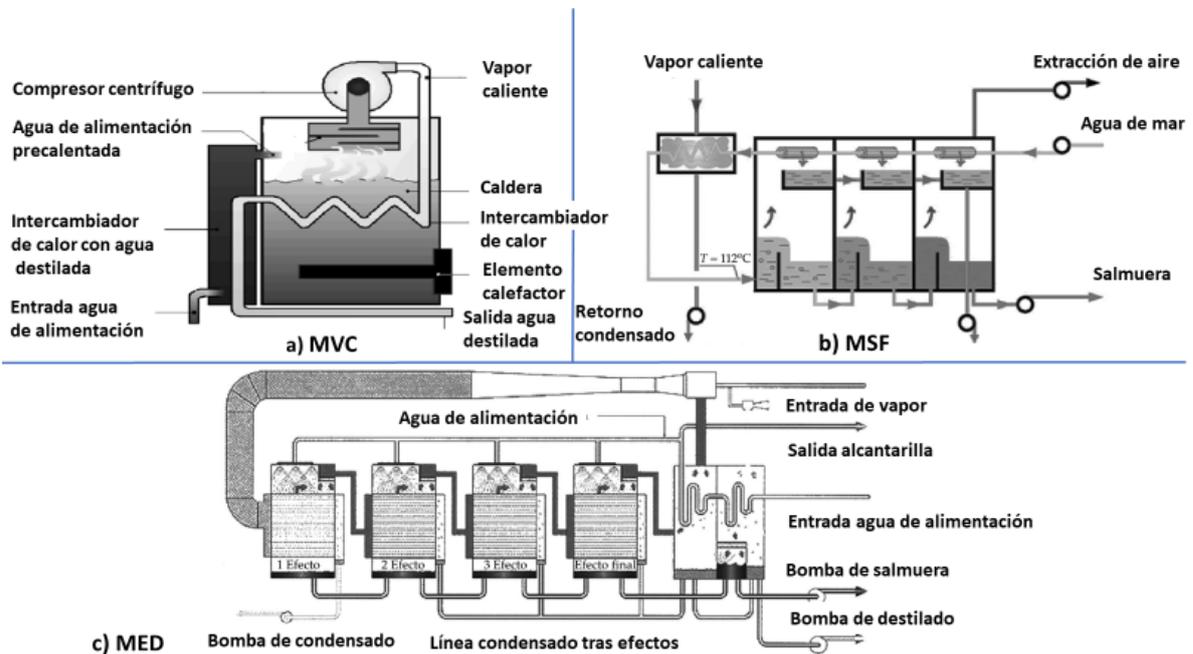


Figura 1. Procesos de destilación térmicos: a) Destilación por compresión mecánica de vapor (MVC); b) Destilación flash multietapa (MSF); c) Destilación multiefecto (MED), [7]

## 4.2 Desalinización mediante membranas

La desalinización del agua mediante esta tecnología consiste en la filtración del agua mediante membranas. De esta forma se obtienen dos corrientes de agua: una con baja concentración de sales disueltas y otra de salmuera concentrada. Los sistemas de desalinización mediante membranas más utilizados son la ósmosis inversa y la electrodiálisis.

**Ósmosis inversa:** la ósmosis es un fenómeno natural (Fig. 2a) que se produce entre dos soluciones con distinta concentración de sales y que están separadas por una membrana semipermeable. El fenómeno que acontece consiste en un flujo de agua a través de la membrana desde la solución más diluida hasta la más concentrada. El flujo de agua se detendrá cuando se alcance el equilibrio, es decir, cuando la concentración de sales en ambos lados de la membrana sea la misma. La fuerza que provoca el flujo de agua se conoce como presión osmótica y está relacionada con la concentración de sales de ambas soluciones (concentrada y diluida).

La ósmosis inversa (Fig. 2b) consiste en invertir este proceso natural. Para invertir este proceso, es necesario aplicar en el lado de la solución más concentrada una presión superior a la presión osmótica ( $\pi$ ). De esta forma se invierte el flujo del agua que irá desde la solución más concentrada a la solución más diluida [3]. Como la presión osmótica está relacionada con la concentración de sales, cuanto más alta sea la salinidad del agua a tratar, mayor presión será necesario aplicar para superar la presión osmótica.

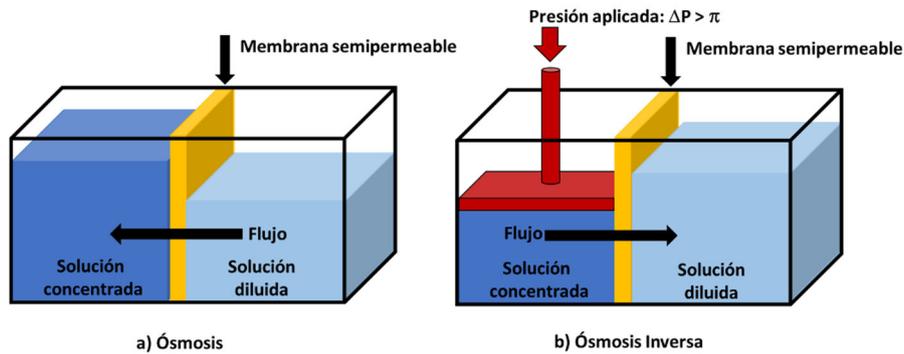


Figura 2: Fenómeno de ósmosis natural y ósmosis inversa

**¿Sabrías calcular la presión osmótica ( $\pi$ )?**  
**¿Sabrías decir de qué parámetros depende?**

Jacobus Enricus Van' t Hoff propuso la teoría en donde las moléculas del soluto que están atrapadas entre el émbolo y la membrana se comportan como un gas encerrado y describió la presión osmótica como resultado de las colisiones de las moléculas del soluto contra la membrana semipermeable sin que las moléculas del disolvente contribuyeran de ninguna manera. Con este modelo, la presión osmótica de una disolución es la misma presión que ejercería un gas ideal si ocupase el mismo volumen de la disolución

$$P \cdot V = n \cdot R \cdot T$$

$$\pi = \frac{n \cdot R \cdot T}{V} \rightarrow \pi = c \cdot R \cdot T$$

$\pi$  = presión osmótica  
 $n$  = nº de moles de soluto en disol.  
 $R$  = cte universal de los gases (8,31 J/(mol K))  
 $T$  = temperatura (K)  
 $c$  =  $n/V$  (conc. molar (mol/L))  
 $V$  = vol. disol. (m<sup>3</sup>)

Presión Osmótica Física IV, AREA 2 ENP-UNAM  
 Elaborado por M. en I. Alan Paz Martínez. Consultado enero 207  
 Disponible en: <https://es.slideshare.net/alpazmar/presin-osr>

Un sistema de tratamiento de agua salina mediante ósmosis inversa (Fig. 3) consta de los siguientes procesos: **toma de captación** del agua marina o salobre, seguido de un **sistema de pretratamiento físico-químico** (filtros de arena y de carbón activo, dosificación química para regular el pH, adición de antiincrustantes, etc.) y por último se sitúan bastidores con las membranas semipermeables colocadas en paralelo o en serie, que eliminaran el exceso de sal del agua.

El agua desalinizada requiere un de tratamiento posterior de desinfección, como la cloración, ozonización o el uso de lámparas ultravioleta, según el uso final (riego, abastecimiento humano, industria,...) del agua.

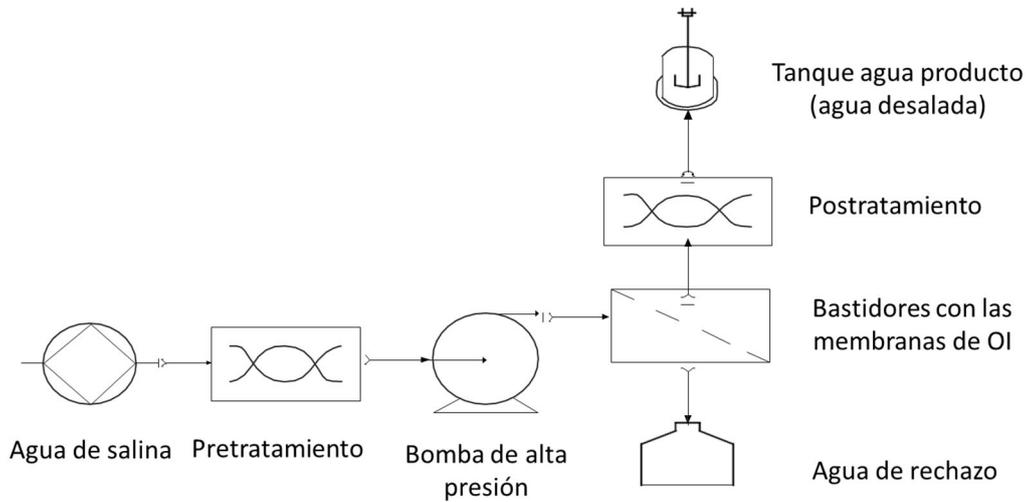


Figura 3: Representación del diseño general de una planta de ósmosis inversa [7]

**Electrodiálisis:** las sales disueltas en el agua se encuentran como iones, es decir con carga eléctrica positiva (cationes) y negativa (aniones). Basándose en las propiedades electroquímicas de los iones del agua y en las propiedades que presentan cierto tipo de membranas se ha desarrollado la electrodiálisis para la separación de las sales.

Este proceso se realiza mediante las membranas cargadas eléctricamente que permiten separar los iones del agua cuando se aplica una corriente eléctrica que origina que los cationes (+) se desplacen hacia el cátodo (-) y los aniones se trasladen hacia el ánodo (+). Las membranas catiónicas permiten el paso de los cationes e impiden el paso de los aniones, al contrario, las membranas aniónicas dejan pasar a su través a los aniones y rechazan a los cationes.

En un sistema donde se han dispuesto alternativamente membranas catiónicas y aniónicas (Fig. 4) se consigue un agua que ha perdido los iones disueltos disminuyendo su salinidad y un agua que va recibiendo los iones aumentando su concentración y por tanto incrementando su salinidad. Con la electrodiálisis, al contrario que ocurre con la ósmosis inversa, lo que atraviesa las membranas son los iones y no el agua.

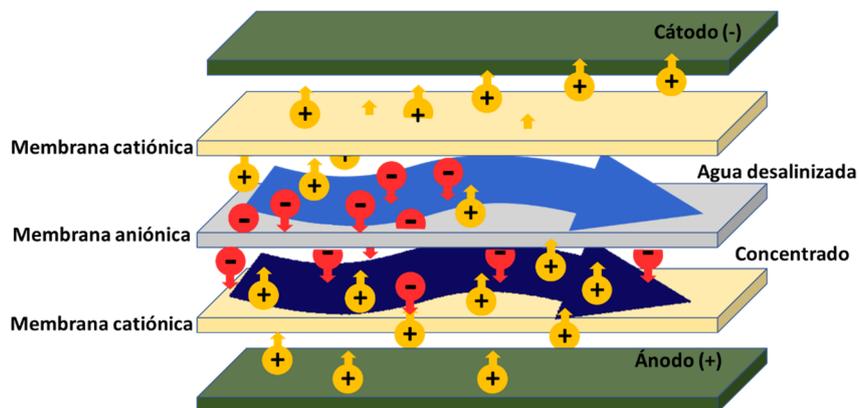


Figura 4: Proceso de electrodiálisis [3]

Para conseguir una determinada reducción de sales hay que utilizar una “cascada” de células de electrodiálisis tal y como se muestra en la figura 5, ya que con una sola celda se consigue aproximadamente el 40% de reducción de sales.

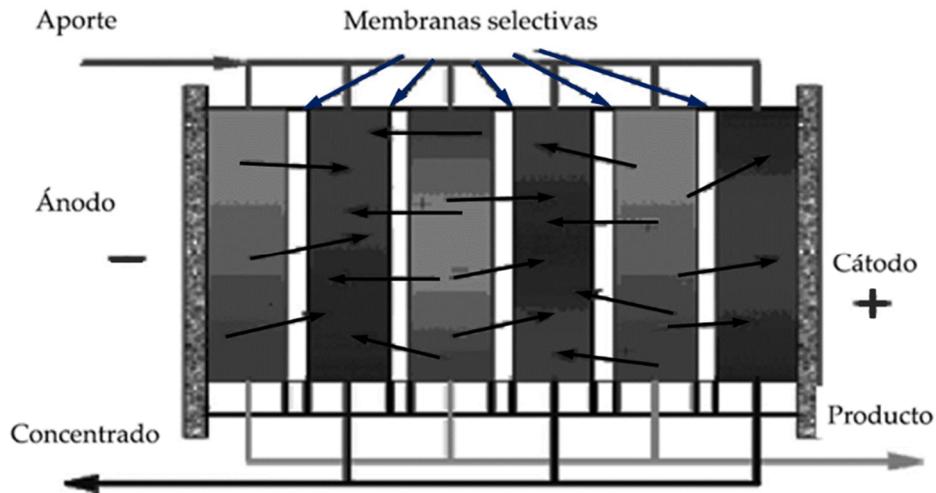


Figura 5: Esquema general de una planta de electrodiálisis [7]

### 4.3 Comparación entre sistemas térmicos y de membrana en la desalinización del agua

Para seleccionar el mejor tratamiento de desalinización del agua hay que tener en cuenta una serie de factores tales como inversión inicial, coste energético, eficiencia en la desalación, problemas ambientales, etc. En la tabla 3 se muestran las ventajas y desventajas, que presentan los sistemas de desalinización térmicos y de membrana, que hay que valorar para escoger el sistema que mejor se adecúe a las necesidades y requerimientos de producción de agua desalinizada.

	<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>	<b>Observaciones</b>
<b>Sistemas térmicos</b>	<p>No dependen de la salinidad del agua</p> <p>Produce agua de calidad casi pura</p> <p>Puede acoplarse a una central eléctrica productora de energía</p>	<p>Elevado coste energético</p> <p>Elevada inversión inicial</p> <p>Eficiencia baja</p> <p>No se recomiendan para aguas salobres ya que los costes energéticos son similares a aguas marinas</p> <p>Problemas ambientales causados por la emisión de gases invernadero</p>	<p>Requiere una fuente de vapor independiente o no del proceso</p> <p>Los costes de MED y MSF son similares entre procesos convencionales y los que utilizan energías alternativas (solar, eólica)</p> <p>Los procesos térmicos de destilación se emplean en el ámbito comercial para desalar agua de mar</p>
<b>Sistemas de membrana</b>	<p>Menor coste energético que sistemas térmicos, especialmente la OI</p> <p>La OI se puede utilizar en aguas salobres como marinas</p>	<p>Requiere pretratamiento físico-químico del agua para aumentar la vida de las membranas</p> <p>La presencia de iones específicos en el agua limita las posibilidades de aplicación eficiente</p>	<p>La OI necesita una fuente exterior de energía para operar las bombas de alta presión</p> <p>Diferencia importante en coste energético entre procesos convencionales y los que utilizan energías alternativas</p> <p>La ED coste de instalación superior a la OI</p>

	<p>La ED solo utiliza agua de baja salinidad. Cuando salinidad es alta se incrementan los costes de inversión y mantenimiento</p> <p>Problemas ambientales causados por vertido de salmueras</p>	<p>La ED se emplean para desalar agua salobre</p> <p>La OI se emplea para desalar agua salobre y agua de mar</p> <p>La OI es el proceso más viable en cuanto a producción, energía consumida, coste y variabilidad en las fuentes de abastecimiento.</p>
--	--	--

OI = Ósmosis inversa; ED= electrodiálisis; MED=destilación multiefecto; MSF= destilación flash multietapa

Tabla 3. Comparación entre sistemas térmicos y sistemas de membrana [7]

## 5 Cierre

Este objeto de aprendizaje se pretende que el alumno entienda que la escasez de recursos de agua dulce hace necesario la utilización de sistemas para producir el agua necesaria que compense la falta del recurso natural. En este artículo se muestran de forma general los sistemas de producción de agua dulce a partir de agua salobre y agua de mar y se identifican las ventajas y desventajas del uso de los diferentes sistemas de obtención de agua desalinizada

## 6 Bibliografía

- [1] Ferrer Talón, P. La desalación del agua con fines agrícolas. Consultado en diciembre 2020. Disponible en:  
<http://www.agroambient.gva.es/documents/163228750/167772277/La+desalaci%C3%B3n+del+agua+con+fines+agr%C3%ADcolas/8a280836-1829-48b2-ae8a-5aaead0ae21b>
- [2] La desalinización en España. Cuadernos sectoriales. Enero de 2007. Instituto Español de Comercio Exterior. [www.icex.es](http://www.icex.es). Consultado en diciembre 2020. Disponible en:  
<https://www.acuamed.es/media/publicaciones/desalinizacion-en-espana.pdf>
- [3] Guía de desalación: aspectos técnicos y sanitarios en la producción de agua de consumo humano. Informes, Estudios e investigación 2009. Ministerio de sanidad y política social. Consultado en noviembre 2020. Disponible en:  
[https://www.msbs.gob.es/profesionales/saludPublica/docs/Guia\\_desalacion.pdf](https://www.msbs.gob.es/profesionales/saludPublica/docs/Guia_desalacion.pdf)
- [4] Condorchem envitec. Consultado enero 2021. Disponible en:  
<https://blog.condorchem.com/desalacion-de-agua/>
- [5] ¿Qué es la desalinización?, IDE Technologies. Consultado enero 2021. Disponible en:  
[https://www.ide-tech.com/es/solutions/desalinizacion/que-es-desalinizacion/?data=item\\_1](https://www.ide-tech.com/es/solutions/desalinizacion/que-es-desalinizacion/?data=item_1),
- [6] Proceso de Destilación de Multietapa Flash – ULPGC. Consultado en enero 2021. Disponible en: <https://www2.ulpgc.es/hege/almacen/download/27/27371/tema2procesomsf.ppt>
- [7] Dévora-Isiordia G.E., González-Enríquez R. y Ruiz-Cruz S. Evaluación de procesos de desalinización y su desarrollo en México. *Tecnol. cienc. Agua* [online]. 2013, vol.4, n.3, 27-46. ISSN 2007-2422. Consultado enero 2021. Disponible en:  
[http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-24222013000300002&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-24222013000300002&lng=es&nrm=iso)