

# Desalación y Emisiones de CO<sub>2</sub>: Vínculos y Soluciones<sup>1</sup>

**Borja Montaña Sanz**

Departamento de Análisis Económico Aplicado  
Instituto Universitario del Agua y las Ciencias Ambientales  
Universidad de Alicante  
[borja.montano@ua.es](mailto:borja.montano@ua.es)

## RESUMEN DEL ARTÍCULO

En este artículo se analizan las distintas formas existentes de desalinizar sin emitir CO<sub>2</sub> a la atmósfera, y las oportunidades empresariales que han surgido fruto de la preocupación en torno a los efectos medioambientales de la desalación. Las emisiones no derivan del propio proceso de la desalinización, si no que se deben a las fuentes energéticas que son empleadas para llevar a cabo el proceso. En este sentido, si cambiamos el modo de abastecer energéticamente a las desaladoras, podremos evitar las emisiones de CO<sub>2</sub>. Sin embargo, tal y como se analiza en este artículo, el evitar estas emisiones nos hace incurrir en otros costes. Si bien recurrimos a la energía nuclear, sabemos que existe un riesgo de sufrir un escape, un coste social y que hay que gestionar unos residuos nucleares. Por otro lado, si recurrimos a las energías renovables, hemos de incurrir en un importante coste de inversión. Actualmente en España, la electricidad proviene en distintas proporciones de combustibles fósiles, energía nuclear, y energías renovables.

## ARTICLE ABSTRACT

*In this article are analyzed the different existing forms to desalinate, without CO<sub>2</sub> emissions. The emissions do not derive from the desalination process, the cause are the sources that are used to carry out the process. In this sense, if we changed the way to supply the power, we will be able to avoid the CO<sub>2</sub> emissions. Nevertheless, as it is analyzed in this article, avoiding these emissions we incur other costs. If we resorted to the nuclear power, we know that we must to manage nuclear residues. On the other hand, if we resorted to the renewable energies, we have to incur in the important cost of investment. In the present in Spain, the electricity comes in different proportions from fossil fuels, nuclear power, and renewable energies.*

---

<sup>1</sup> Agradezco la financiación de las Obras Sociales CAM (Caja de Ahorros del Mediterráneo) y la Participación en el proyecto Consolider-TRAGUA CSD 2006-00044 y los comentarios de los evaluadores anónimos.

## 1. INTRODUCCIÓN

De entre los diversos efectos ambientales de la desalación las emisiones de CO<sub>2</sub> es uno de los más graves. Estas emisiones se suelen imputar al proceso de la desalación, sin embargo, no es cierto que la desalación emita CO<sub>2</sub>. Las emisiones son debidas al consumo energético, en este sentido, cualquier maquinaria que consuma electricidad está haciendo emisiones, claro que como la proporción de energía que consume la desalinización es muy elevada, este ha sido un tema muy citado en los medios. Este capítulo tiene como fin responder a las preguntas: ¿Es posible desalinizar agua sin emitir CO<sub>2</sub>? ¿Que oportunidades de negocio han surgido de la escasez hídrica y de la preocupación ambiental en torno a la desalación? Nuestra hipótesis es que se puede obtener agua desalinizada sin necesidad de incurrir en el daño ambiental que generan las emisiones de CO<sub>2</sub>, sin embargo evitar estas emisiones nos va a obligar a incurrir en unos mayores costes económicos o en un mayor coste social. Por otra parte de la experiencia española de desalación y del know how que han adquirido las empresas españolas derivan importantes oportunidades, entre las que destaca la posibilidad de internacionalizarse.

## 2. DESALACIÓN CON ENERGÍAS RENOVABLES

Las energías renovables nos permiten consumir energía sin emitir CO<sub>2</sub> a la atmósfera, puesto que estas emisiones son quizás el gran problema ambiental de la desalinización, a menudo se habla de las posibilidades de vincular de un modo directo o indirecto la desalinización con las energías renovables. Abastecer directamente una desaladora mediante energías renovables, significa que se produce energía con unos aerogeneradores, placas solares u otros sistemas, y se emplea dicha energía exclusivamente en la planta. A menudo, si hay excedentes de energía estos se ceden a la red eléctrica a cambio de una compensación económica.

### 2.1- Desalación eólica

Se denomina desalación eólica a un sistema de desalación que es abastecido energéticamente mediante aerogeneradores. Existen diversas variantes, de desalación eólica, cuya diferencia principal reside en si se emplea la energía mecánica de los aerogeneradores o si bien se consume la electricidad que estos producen. Empleando directamente la energía mecánica, la eficiencia es mayor, sin embargo, no pueden venderse los excedentes de electricidad en caso de que los hubiere.

Con la puesta en marcha del Programa A.G.U.A, no tardaron en aparecer las críticas acerca del elevado consumo energético que era necesario para alimentar a todas las plantas previstas. El gobierno se comprometió a producir mediante energía eólica, al menos la misma cantidad de energía que se estaba consumiendo con las desaladoras.

## **2.2.- Desalación solar**

En la actualidad se investiga con el fin de conseguir que las técnicas de desalación a través de la tecnología solar puedan llegar a ser una fuente sostenible para la obtención de estos recursos hídricos que son cada vez más escasos. Los sistemas de desalación que se emplean en la actualidad presentan como inconveniente el que necesitan grandes cantidades de energía para su funcionamiento así como también necesitan de inversiones muy costosas para su implantación.

Al emplear combustibles fósiles en la desalación se emiten gases de efecto invernadero, por este motivo es importante estudiar la viabilidad de los sistemas de desalación alimentados con energías renovables.

Los sistemas de desalación solar térmica se dividen en dos grandes grupos según su configuración:

- Desalación solar térmica directa. En esta el colector y el destilador están integrados.
- Desalación solar térmica indirecta. En este sistema el colector y el destilador están compuestos por elementos bien diferenciados.

Los principales procesos de desalación actualmente empleados pueden ser clasificados como:

- Procesos térmicos. En estos procesos se emplea energía térmica con el fin de provocar un cambio de fase del agua a vapor o a sólido. Una vez provocado este cambio de fase se separa físicamente la solución salina inicial. En el caso en el que el proceso es a vapor, también es conocido como destilación.
- Procesos de separación física. Para separar agua de sal, se emplea un elemento físico, que generalmente son membranas, al aplicar un gradiente externo, como puede ser en el caso de la ósmosis inversa o la electrodiálisis. En el caso de España, la ósmosis inversa es el proceso de mayor uso, con más de un 90%.

Para cada sistema de desalación, se pueden emplear distintas fuentes renovables de energía. La elección de que fuente utilizar, viene determinada por el tipo de energía primaria

que el proceso de desalación consume, de modo que por lo general las técnicas de desalación térmicas emplean fuentes de energía térmicas. Estas fuentes pueden ser la solar o la geotérmica. Para el caso de la ósmosis inversa que es el más empleado en la Comunidad Valenciana, la electricidad que precisa el proceso puede ser obtenida con energía fotovoltaica o la eólica.

A la hora de elegir un tipo de energía renovable u otro debemos de tener en cuenta:

- Los distintos tipos de fuentes renovables disponibles en el emplazamiento y la calidad de las mismas.
- El tamaño de la desaladora que hay que abastecer.
- La salinidad que tiene el agua con la que vamos a trabajar.
- La localización de la desaladora.
- La disponibilidad de personal cualificado para su operación y mantenimiento.



En el caso más empleado en la Comunidad Valenciana, la ósmosis inversa, es el proceso que más a menudo se combina con energías renovables. De entre las posibles fuentes de energía renovables, se suele emplear la solar, fundamentalmente la fotovoltaica, seguida de la térmica. Pero por ahora se trata de instalaciones pequeñas para aplicaciones y localizaciones muy específicas.

El uso combinado de algunos procesos de desalación y de energías renovables, y sobre todo en el caso de la energía solar térmica, presentan la ventaja de que no se ven sometidas a las pérdidas de rendimiento que se dan en la generación y transporte de la energía eléctrica, que pueden ser incluso superiores al 75%. Una ventaja de la energía solar es que se da una coincidencia geográfica de los lugares donde más escasez de agua hay y buenos recursos solares (zonas áridas). Por otro lado también se da una coincidencia entre las épocas del año de mayor escasez, fundamentalmente el verano, con las épocas de máxima disponibilidad solar. Además a lo largo del día la mayor demanda de agua se da a lo largo de las horas en las que hay luz solar. Otra coincidencia importante, es que si un día hay menos energía solar que otro, es por que el cielo está más nublado con lo cual es más

posible que llueva y por tanto haya menos escasez.

### **2.3.- Problemas y soluciones de la desalación con energías renovables**

El problema de combinar plantas de desalación con energía solar es el mismo que nos encontramos con la energía eólica, y es que las desaladoras han sido diseñadas para trabajar con una fuente de energía prácticamente constante. De no ser así, surgen complicaciones en su operación y baja el rendimiento de la planta, esto nos da un nefasto contraste con las energías renovables. Para minimizar los efectos de esta incompatibilidad podemos emplear las siguientes tácticas:

- Utilizar sistemas de almacenamiento energético, con el fin de disponer siempre de energía (el problema de este es que encarece la inversión)
- Emplear de forma combinada varias energías renovables como pueden ser la solar y la eólica, o bien complementar energías renovables con no renovables.
- Controlar de forma combinada del sistema de captación de energías renovables y de la desaladora.

En base a estos problemas, se plantean como viables tres posibles arquitecturas del sistema y estrategias de control para combinar el funcionamiento de ambos elementos<sup>2</sup>:

- Power Side Management: consiste en gestionar por el lado de la fuente de alimentación, en la cual se proporciona a la planta desaladora una alimentación energética constante. Para esto, la planta debe ser diseñada para una producción fija sin que el abastecimiento energético dependa de las condiciones climatológicas o del entorno. Para conseguir esto, podemos bien combinar fuentes de energía renovables con las tradicionales o bien emplear sistemas de almacenamiento de la energía renovable.

- Load Side Management: el sistema se diseña basado en los condicionantes de la fuente de energía renovable, con lo cual se varían si es necesario las características de la planta desaladora de modo que toda la energía producida sea absorbida por esta. Para conseguir esto se puede dividir la planta desaladora en módulos más pequeños que pueden conectarse y desconectarse, otro sistema para conseguirlo sería permitir en la medida de lo posible que se desvíe de su punto nominal o de funcionamiento con una reducción de sus rendimientos.

-Integrated Management: consiste en llevar a cabo una gestión integrada, actuando sobre el sistema de desalación.

---

<sup>2</sup> Fuente: Era Solar, enero – febrero 2006

### 3. DESALACIÓN NUCLEAR

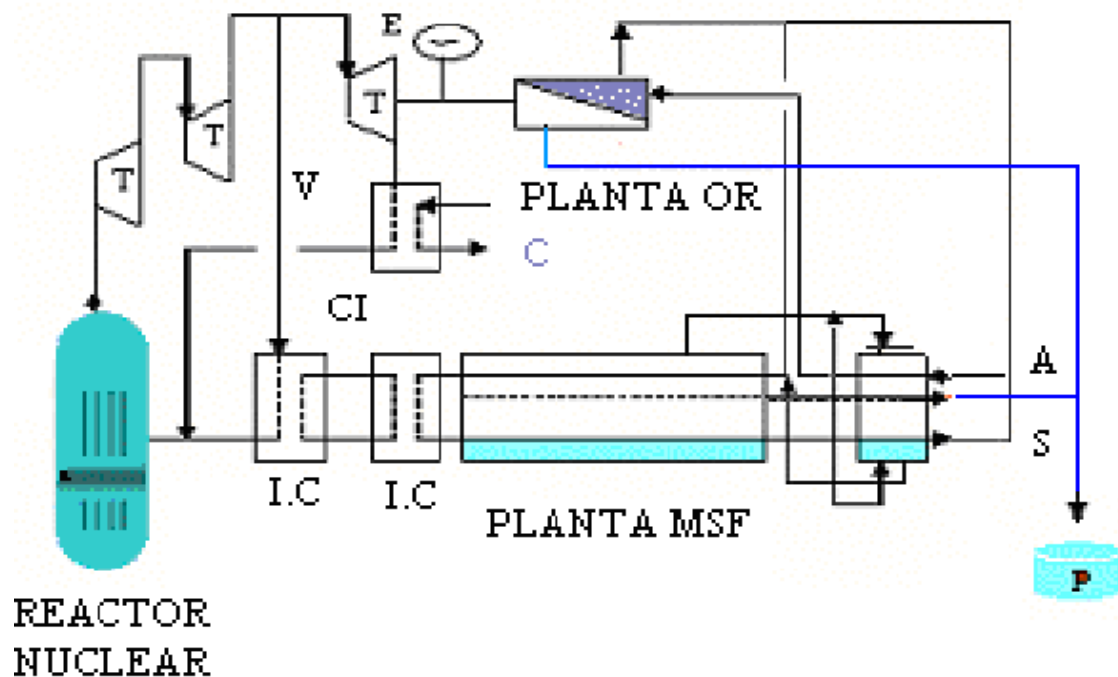
Es un proceso térmico mediante el que se separa el agua de las sales. Para llevar a cabo este proceso, puede hacerse uso de la energía térmica o eléctrica. Si el proceso es termodinámicamente reversible, el mínimo requerimiento de trabajo para poder desalar un agua de mar con 35.000 ppm de sólidos disueltos totales (SDT) es de aproximadamente 0,7 kWh/m<sup>3</sup>. La diferencia fundamental de la desalación nuclear con respecto de una desalación térmica convencional reside en la fuente de energía, que proviene de un reactor nuclear, mientras que en una central térmica clásica el calor se genera al quemar un combustible fósil. En los países árabes que tienen muchas plantas desaladoras, como puede ser Arabia Saudí, tienen abundancia de combustibles fósiles, con lo que la energía nuclear tendría una alternativa más sencilla, sin embargo España no tiene abundancia de petróleo. En las centrales nucleares se genera calor mediante la fisión de los núcleos de uranio dentro de un reactor.

En la actualidad, en nuestro país la energía nuclear no goza de buena fama con lo cual el uso de estas fuentes energéticas para la desalación es socialmente inviable. Sin embargo, el tradicional uso de combustibles fósiles como puedan ser el petróleo, carbón, lignito o el gas natural como fuente de energía primaria para el proceso de desalación genera un impacto medioambiental severo.

Las emisiones de gases de la desalación mediante combustibles fósiles contribuyen al efecto invernadero, a la lluvia ácida y al impacto térmico sobre los cauces. Por otro lado se generan una serie de residuos sólidos que contaminan el suelo. Ante este deterioro del medio ambiente se hace conveniente la búsqueda de vías alternativas de obtener la energía necesaria y que sean además menos contaminantes, como pueden ser la hidráulica, la mareomotriz, la biomasa, la geotérmica, la eólica, la solar y la nuclear. En el terreno de los costes ambientales, destacan las plantas hidroeléctricas pequeñas y las nucleares por ser aquellas que generan un menor impacto. Técnicamente cualquier tipo de reactor nuclear se podría adaptar a una desaladora, pero son los reactores nucleares enfriados por agua los más recomendables por su estado de desarrollo y experiencia operacional. A fecha de abril de 2004 funcionaban en el mundo 440 reactores nucleares distribuidos entre 31 países, disponiendo de una capacidad instalada de 361,6 GW(e), produciendo unos 2.570 TW(e)h de electricidad y contribuyendo con el 16% de la generación total de electricidad a nivel mundial.

El acoplar una planta nuclear a una desaladora permite la cogeneración de electricidad y agua potable. Este acoplamiento se realiza mediante el intercambio de calor generado en el reactor nuclear y el proceso térmico de desalación, a través de unidades intercambiadoras de calor, e interponiendo por cuestiones de seguridad entre el calentador de salmuera y el intercambiador de calor del reactor un circuito de transferencia de calor. Las plantas de MSF utilizan la energía vapor proveniente del reactor a baja presión, mientras que las plantas de ósmosis inversa utilizan la potencia eléctrica generada en el reactor para el bombeo de agua salada (alta presión). Este acoplamiento se realizaría de un modo similar al de las plantas de cogeneración que utilizan combustibles fósiles. Este acoplamiento de un reactor nuclear en cogeneración, produciendo electricidad y vapor de proceso para la desaladora, a un sistema híbrido de desalación, se puede realizar tanto con plantas MSF o MED acopladas con plantas de Ósmosis Inversa. La complementación entre dos tipos de plantas desaladoras ofrece ventajas técnicas y también ventajas económicas, en comparación a las desaladoras individuales. La evidencia es tal que no solo es atractiva esta opción, sino que se convierte en una necesidad a medida que la planta adquiere una gran capacidad. El introducir una planta de Ósmosis Inversa ofrece ventajas en tanto en cuanto hace posible la obtención de producto de diferentes calidades, en función del uso que le queramos dar. ¿Qué procesos debemos combinar? La respuesta a esta pregunta ha de emanar de las necesidades particulares de la demanda así como de la disponibilidad de electricidad. A continuación podemos ver un esquema de una cogeneración de un reactor nuclear a una planta híbrida de desalación MSF-OR.

Hemos de tener en cuenta por tanto que la desalación por medios nucleares ofrece una solución, que será viable solo en el caso de regiones donde se tienen necesidades de agua potable para el consumo urbano y agrícola en gran escala. Afortunadamente, en el caso de la Comunidad Valenciana, existen vías alternativas de obtener el agua, lo que desaconseja esta tecnología por sus elevados costes de inversión.



Fuente: Flores Espinosa, Rosa M.; Perusquia Del Cueto, Raúl; Ortiz Oliveros, Huemantzin Balan (2004)

Las siglas que aparecen en el esquema tienen el siguiente significado:

- A: Agua de alimentación
- C: Condensador
- CI: Circuito intermedio de transferencia de calor
- E: generador de calor
- I.C: Intercambiador de calor
- P: Producto, es decir, agua desalada
- S: Salmuera
- T: Turbinas, tanto de alta como de baja presión
- V: Vapor



#### **4. OPORTUNIDADES DE NEGOCIO VINCULADAS A LA DESALACIÓN EN MATERIA AMBIENTAL**

Dada la escasez y desigualdad hídrica que afecta a España, la desalación ha tomado una gran importancia. Es por ello que España se ha convertido en un referente mundial en materia de desalación. Con el incremento del aporte de recursos hídricos provenientes de la desalación, la preocupación en torno a los efectos de este proceso sobre el medio ambiente ha aumentado. De modo que las exigencias ambientales hacia la desalación han crecido en España, siendo mayores que en años pasados y mayores que en otros países.

Este creciente incremento de las exigencias ambientales a la desalación ha generado efectos positivos en la economía y a abierto nuevas oportunidades de negocio. Los principales efectos son los siguientes:

-Dado el continuo aumento de las exigencias ambientales en materia de desalación, así como en otras obras hidráulicas como los trasvases o la reutilización, las consultorías medioambientales han hallado una nueva oportunidad de negocio. Para poner en marcha una obra hidráulica, bien sea una desaladora, un trasvase o una depuradora, es necesario en nuestro país presentar una declaración de impacto ambiental que haya sido llevada a cabo por una entidad externa a la empresa que va a llevar a cabo la obra. En el caso de la desalinización, la principal labor de esta consultoría consiste en verificar que el vertido de la salmuera no es dañino para el medio ambiente. Por tanto, la creciente importancia de la desalación ha generado una oportunidad de negocio para las consultorías medioambientales.

-Uno de los principales problemas de la desalación es el elevado consumo energético, de este consumo derivan emisiones de CO<sub>2</sub>, sin embargo, estas emisiones no están vinculadas directamente al proceso de desalación si no a la composición de la energía con la que se abastece la planta. En este sentido, la energía en España tiene un alto contenido de combustibles fósiles, responsables de las emisiones de CO<sub>2</sub>. Para paliar los efectos ambientales de las emisiones de CO<sub>2</sub>, puede abastecerse a la desalación mediante energías renovables. En este sentido, la anterior ministra de medio ambiente, Cristina Narbona, afirmó que pretendía producir mediante energías renovables tanta energía como la que consumiesen el conjunto de las desaladoras. Por otra parte, existen experiencias de desaladoras que han implantado en su propia planta aerogeneradores o placas fotovoltaicas para generar la energía que necesitan, pudiendo inclusive, en el caso de los aerogeneradores, vender la energía sobrante. De modo que la creciente importancia de la desalación ha generado nuevas oportunidades de negocio a las energías renovables.

-La mayor de las oportunidades de negocio que ha surgido de la creciente preocupación por los efectos ambientales de la desalación en España, lo ha experimentado el propio sector de las empresas de desalación. La creciente preocupación por los efectos de la desalación en España, ha obligado a las empresas a desarrollar tecnologías cada vez más eficientes energéticamente, ha minimizar los efectos del vertido de la salmuera y a desarrollar diseños para sus plantas cada vez más vistosos. En definitiva, las empresas españolas de desalación han adquirido un gran know how, que las ha convertido en empresas con grandes ventajas comparativas respecto a las empresas de otros países. En este contexto, y dado que en otros países existe una problemática hídrica similar las se ha abierto una importante oportunidad para las empresas de desalación y tratamiento de aguas españolas.

#### **4.1.- La internacionalización de las empresas españolas de desalación**



Los países desarrollados agreden de múltiples modos al medio ambiente, es por ello que la concienciación en materia ambiental es alta. De modo que en España la actividad de las desaladoras ha sido sujeta a numerosos controles y exigencias, haciendo que las empresas españolas adquiriesen un importante diferencial de know how. A medida que se han ido construyendo desaladoras en España, la escasez es cada vez menor, de modo que cada vez es más complicado el competir en España.

Esto a motivado a las empresas Españolas a internacionalizarse hacia diversos destinos, destacando Argelia, Túnez, Australia, EEUU, Reino Unido, Irak, Irán y Marruecos entre otros destinos. Todos los destinos de las empresas de desalación presentan dos características comunes, poseen una experiencia relativamente escasa y sufren un déficit de recursos hídricos. De entre las múltiples empresas españolas que están llevando a cabo su proceso de desalación destacan Sadyt, Acciona Agua, Tedagua, Drace, Cadagua, y Aqualia. La realidad y estrategias de cada una de estas empresas es distinta, pero para todas ha surgido una oportunidad con la internacionalización, a causa de que las empresas españolas son más competitivas que las extranjeras.

## 5. CONCLUSIONES

Como hemos visto en este artículo, es posible desvincular a la desalación de las emisiones de CO<sub>2</sub>, bien recurriendo a las energías renovables o a la energía nuclear. Sin embargo, el hecho de liberarnos de las emisiones de CO<sub>2</sub>, tiene el coste de incurrir en otros problemas. Si se abastece a las desaladoras mediante energías renovables, los costes aumentan significativamente, debido a que es necesaria una gran inversión para alimentar mediante energía renovable la planta desaladora, tanto si se opta por la energía solar como por la eólica o cualquier otra. Por otro lado, con la energía nuclear, no se incurre en las indeseables emisiones de CO<sub>2</sub>, sin embargo existen otros riesgos ambientales bien conocidos. Es compleja la discusión de si es más conveniente en términos medioambientales el uso de energías extraídas de combustibles fósiles o la nuclear, pero está claro que se trata de asumir unos u otros tipos de contaminación. Paralelamente a esta discusión, en España las empresas y el gobierno han mostrado voluntad de reducir las emisiones que derivan de la desalación, de modo que ante la incertidumbre de que si los costes de abastecer las plantas con energías renovables son demasiado altos, y de que la energía nuclear no goza de buena fama en nuestro país, los esfuerzos se han centrado en reducir el consumo energético. Los esfuerzos de las empresas españolas de desalación para aumentar la eficiencia han posibilitado al largo plazo que posean una gran competitividad respecto a las empresas del extranjero, de modo que la internacionalización aparece como una oportunidad y una estrategia común para las empresas españolas de desalinización.

Vemos que la hipótesis que nos planteábamos es cierta, ya que es posible desalinizar agua sin incurrir en las emisiones de CO<sub>2</sub>, lo que implica que la desalinización no tiene por que tener asociadas dichas emisiones. Sin embargo, tal y como establecíamos en nuestra hipótesis, para evitar el coste ambiental que deriva de estas emisiones, hemos de incurrir, o bien en otro tipo de costes ambientales como los ligados a la energía nuclear, o bien en mayores costes económicos como sucede con las energías renovables.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

BOE num. 190. Jueves 9 de agosto de 2007, 51.943/07

Corrochano Consulting & Asociados, S.L.: "Tarifas eléctricas".

De la Cruz, Carlos. "La desalinización de agua de mar mediante el empleo de energías renovables."( Documento de trabajo 88/ 2006)

Esteve, M.G.; Martínez, J. y Alarcón M. (2006): "Situación actual del agua, en el medio ambiente y la energía en la Región de Murcia" O5.

Flores Espinosa, Rosa M.; Perusquia del Cueto, Raúl; Ortiz Oliveros, Huemantzin Balan (2004): "Desalación de agua de mar mediante reactores nucleares de potencia, con cogeneración."

Melgarejo Moreno, J. (Ed.) (2004): "Repercusiones socioeconómicas del Plan Hidrológico Nacional en la Provincia de Alicante". Fundación Coepa, Alicante

Michael B. Cook. (1989). Seminario: "La inyección en Sondeos Profundos. Una alternativa en la lucha contra la contaminación" (IGME)

Miguel Torres (Jefe del Área de Calidad de las Aguas. CEDEX). "La desalación de agua de mar y el vertido de la salmuera."

Montaño Sanz, Borja (2008): "Una visión cooperativa de las medidas ante el posible daño ambiental de la desalación" Fundación de las cajas de ahorro, documento de trabajo nº 393/2008

Montaño Sanz, Borja (2008): "Análisis del proceso de internacionalización de Sadyt" Boletín Económico del ICE nº 2947 del 1-15 de septiembre de 2008.

Ron S., Faibishm Hisham Ettiuney. "MSF Nuclear Desalination, Desalination 157 (2003) 277-287", Elsevier Science (2003).

Semiat, R. (2000) "Desalinization: Present and Future", Water International, vol. 2, núm. 1, págs. 54-65.

Wangnick, K. "The historical developement of the desalination market. IDA Abu Dhabi Proceedings". 1995

Zarzo, D. (2007): "Aspectos Técnicos y Económicos de la Desalación de Agua de Mar."