

"El impacto de las plantas desalinizadoras sobre el medio marino: la salmuera en las comunidades bentónicas mediterráneas"

Esperança Gacía y Enric Ballesteros

Centre d'Estudis Avançats de Blanes - CSIC

Ctra. Santa Bàrbara, 17300 Blanes

INTRODUCCIÓN

El desarrollo industrial, el cambio de usos del suelo y el incremento creciente del turismo han aumentado considerablemente la demanda de agua potable. En España, un 20 % del territorio presenta problemas de escasez de agua (Libro Blanco del Agua en España 1998). Para hacer frente a esta problemática en las últimas tres décadas se han instalado plantas desalinizadoras de aguas salobres o marinas las cuales proporcionan agua para usos urbanos, industriales o agrícolas. Aún así, la escasez de agua va en aumento y la instalación de plantas desalinizadoras se prevé que siga creciendo a tenor de la tendencia espectacular detectada en los últimos años (Fig. 1). Dicho crecimiento no ha ido acompañado de una investigación sobre el impacto de los vertidos generados por estas operaciones sobre nuestras costas, aunque los conocimientos que se tienen hasta la fecha apuntan a que algunas de las comunidades asentadas sobre el fondo marino podrían ser especialmente sensibles a los vertidos de salmueras. Los pocos estudios de impacto disponibles actualmente en la literatura indican que el vertido de las plantas desalinizadoras ha llevado a reducciones de poblaciones de peces, mortalidades de plancton y corales en el Mar Rojo (Mabrook 1994), mortalidad de manglares y angiospermas marinas en la laguna de Ras Hanjurah (Emiratos Árabes; Vries et

al. 1997), o bien a una contaminación importante de los fangos por cobre y níquel en Key West (Florida; Chesher 1970).

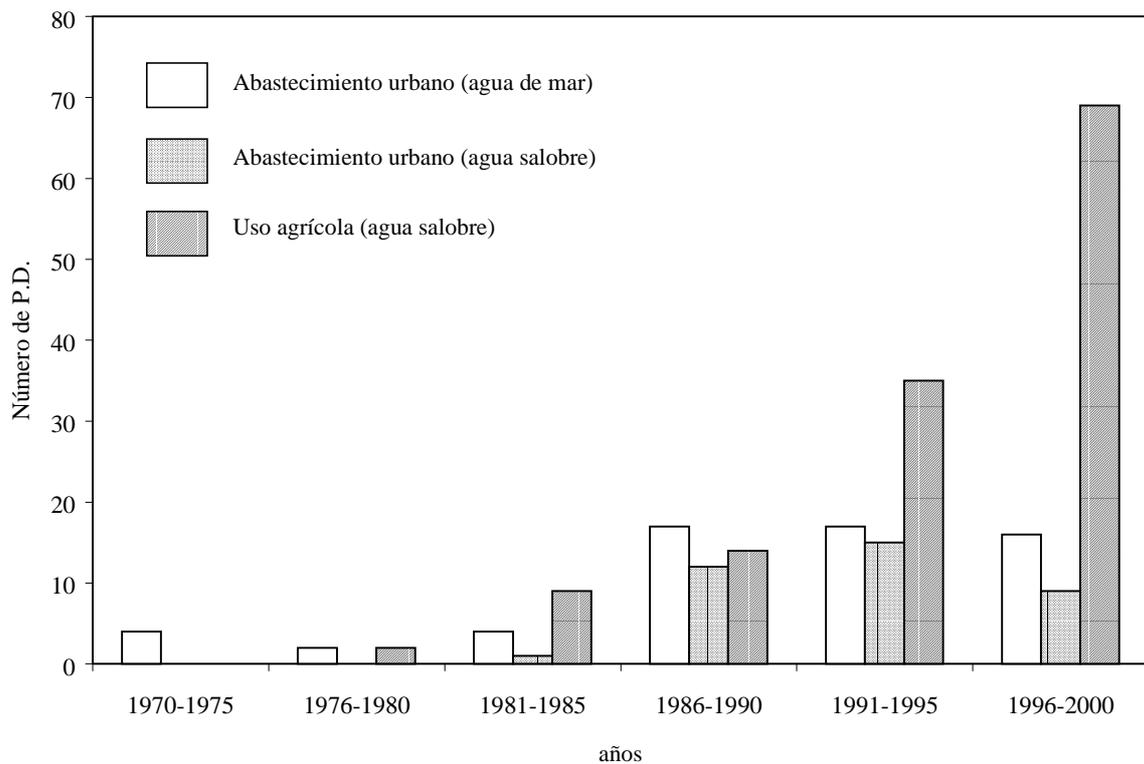


Fig. 1 Evolución temporal en la construcción de plantas desalinizadoras en España.

Existen dos procesos básicos por los que se extrae la sal del agua: por destilación y por ósmosis inversa. El impacto que tienen ambos procesos en el medio marino es parecido y resulta principalmente del vertido de las aguas residuales, aunque también existe cierto impacto derivado del proceso de captación de aguas. Las aguas residuales resultantes de la desalinización tienen un contenido mayor en sales que las aguas de origen, presentan

diferencias de temperatura, de pH, de alcalinidad y contienen sustancias químicas utilizadas durante el proceso de depuración. En el caso de las plantas que funcionan por destilación el vertido representa de 8 a 10 veces el volumen de agua depurado, mientras que en plantas de ósmosis inversa el volumen residual es menor que en las anteriores (2.5 a 3 veces el volumen depurado) pero el vertido tiene un contenido en sales mucho mayor. En ambos casos hay que añadir el vertido de productos químicos (biocidas, anti-incrustantes y anti-espumantes) resultado del tratamiento del agua, así como también los vertidos puntuales que resultan del limpiado de las membranas y que constituyen aportes muy concentrados de sólidos en suspensión y detergentes. Tradicionalmente se ha considerado que el impacto químico del proceso de ósmosis inversa era despreciable por verter a concentraciones muy bajas (Morton et al. 1996). Sin embargo muchos de los componentes de los vertidos (Tabla 1) tienen un impacto demostrado sobre el medio marino y, en algunos casos (e.g. metales) no tanto por su concentración sino por la carga que representan. En esta ponencia analizamos el efecto del incremento de salinidad y de las variaciones de temperatura del agua en base a conocimientos actuales de condiciones ecológicas en las comunidades litorales. No obstante queremos destacar la necesidad de investigar el efecto de cada uno de los componentes de las salmueras sobre las comunidades para poder valorar el impacto global de las operaciones de desalinización.

IMPACTO SOBRE LAS COMUNIDADES

La distribución de los organismos marinos está estrechamente relacionada con la temperatura y la salinidad, como lo demuestra el hecho de que en zonas estuáricas, donde hay variaciones significativas de salinidad, muchas especies no pueden sobrevivir, o como incrementos o decrementos de pocos grados de la temperatura del agua pueden comportar la sustitución de

unas especies y/o comunidades por otras (Francourt et al. 1994). Las variaciones de salinidad y de temperatura suelen estar estrechamente relacionadas en condiciones naturales. Se producen incrementos de salinidad en sistemas confinados con mucha evaporación, mientras que la salinidad disminuye en sistemas donde hay entradas importantes de aguas continentales, las cuales pueden tener temperaturas distintas a las del sistema. En condiciones naturales los incrementos de salinidad en el medio marino son raros y se producen en sistemas resguardados no comparables a zonas costeras abiertas donde mayoritariamente pueden verter las salmueras. Estos sistemas (lagunas, humedales o marismas) se caracterizan por tener unas condiciones muy fluctuantes no solamente de salinidad y temperatura, sino también de nutrientes. Las comunidades de organismos que se desarrollan suelen bascular en torno a estas dos variables, la salinidad, cuyas fluctuaciones impiden el establecimiento de poblaciones estables, y los nutrientes que favorecen la proliferación. Son sistemas caracterizados por tener una baja diversidad (se ha observado que por encima de los 38 ‰ el número de especies disminuye considerablemente) y, a menudo, una elevada productividad. En estas aguas hiperhalinas la simplificación de las relaciones tróficas es extraordinaria pudiendo dar lugar a comunidades muy sencillas donde participan bacterias, algas unicelulares, algún ciliado, rotífero y quironómido. En los casos más extremos (ej. salinas y marismas) las únicas comunidades que se establecen son tapices algales y bacterianos. Estas comunidades son, por tanto, totalmente distintas a las de las zonas costeras adyacentes con condiciones ambientales mucho más constantes.

COMUNIDADES LITORALES

El vertido de salmueras de plantas desalinizadoras de agua de mar se produce desde la línea de costa hasta profundidades de unos 30 m, y en su gran mayoría sobre fondos blandos

(arenas y fangos). En el Mediterráneo, las comunidades más características de estos fondos son las praderas de angiospermas marinas, las praderas de *Caulerpa prolifera* y los fondos sin vegetación.

Las praderas de angiospermas marinas son sistemas estructuralmente complejos que juegan un papel muy importante en la retención de sedimentos y en la protección de la línea de costa, así como en el control de los ciclos biogeoquímicos del litoral. Las praderas constituyen también el hábitat para un gran número de organismos por lo que se las considera refugios de biodiversidad. En las costas mediterráneas se encuentran cinco especies de angiospermas marinas de entre las cuales la endémica *Posidonia oceanica* es la más abundante, presentando comunidades muy estructuradas y, con una gran biomasa y producción. *P. oceanica* ha experimentado una notable regresión en las últimas décadas (Boudouresque & Meinese 1982; Marbà *et al.*, 1996) por lo que actualmente es una especie protegida por ley en las comunidades autónomas de Baleares, Catalunya y Valencia, y está catalogada como hábitat prioritario por las directivas de la Unión Europea.

Las angiospermas marinas poseen diversas adaptaciones morfológicas y fisiológicas que les permiten sobrevivir y crecer en un medio, como el marino, de elevada salinidad. Existen en la literatura algunos trabajos sobre los efectos de la variación de la salinidad sobre la fisiología y la producción de las angiospermas marinas. Sin embargo, la mayoría de tales trabajos se han llevado a cabo en estuarios por lo que las referencias sobre los efectos de condiciones hipersalinas son mucho menos abundantes que los que tratan de condiciones hiposalinas. Entre los estudios mencionados no se ha hallado ningún trabajo realizado en *Posidonia oceanica*. Como resultado de estos trabajos se desprende que existen una serie de efectos

negativos asociados con un incremento de salinidad en el sistema sobre el metabolismo del nitrógeno y del carbono, así como una disminución de la fotosíntesis y de la producción en general en las angiospermas marinas (revisión en Romero et al. 2000). A estos potenciales efectos negativos de la salinidad hay que añadir el hecho de que los vertidos de salmueras suelen ir asociados a temperaturas más elevadas, con lo que existe también un efecto negativo combinado asociado a la disminución de la concentración de oxígeno.

Condiciones naturales de elevada temperatura y salinidad y bajas concentraciones de oxígeno pueden encontrarse en verano en las masas de agua delimitadas exteriormente por un arrecife barrera de *Posidonia oceanica* e interiormente por la línea de costa (Fig. 2; Pérès & Picard 1964). Dichas zonas (post-arrecife o laguna), siempre poco profundas y confinadas, están sujetas a oscilaciones importantes de salinidad, a causa de la enorme evaporación en la época estival (condiciones hipersalinas) como al aporte de agua dulce en épocas lluviosas (condiciones hiposalinas). En estas condiciones *Posidonia oceanica* desaparece y es substituida por *Cymodocea nodosa* y *Zostera noltii* siguiendo un gradiente de baja a alta tolerancia a las perturbaciones salinas y de temperatura (Pérès & Picard 1964). Sin embargo, esta substitución de unas especies por otras coincide con un gradiente de mayor a menor profundidad y con una atenuación del hidrodinamismo, por lo que no podemos inferir una posible substitución de unas especies por otras en el supuesto de vertidos hiperhalinos.

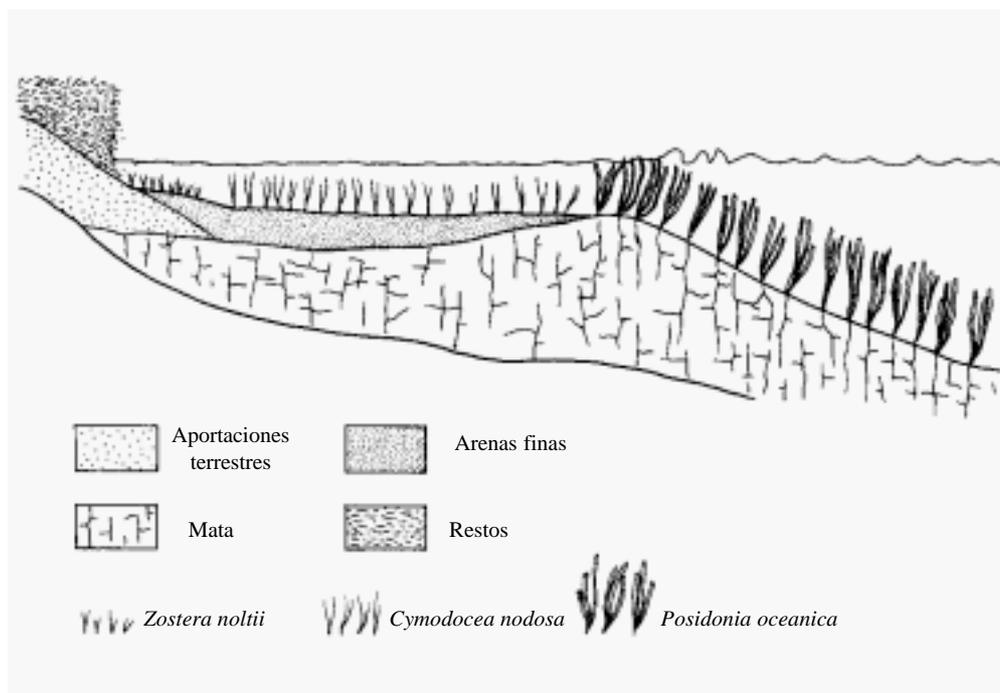


Fig. 2 Sección esquemática de un arrecife barrera de *Posidonia oceanica*.

Para subsanar las deficiencias detectadas en la previsión del impacto de los vertidos de salmueras en praderas de *P. oceanica* diferentes instituciones están trabajando en un proyecto dentro del marco de un convenio suscrito por el Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX) con Aguas del Segura S.A. y las Universidades de Alicante, de Barcelona, el Instituto Oceanográfico de Murcia y el Centro de Estudios Avanzados de Blanes (CSIC). Dicho proyecto comporta distintas aproximaciones al problema que incluyen el seguimiento de operaciones en funcionamiento, el estudio en acuarios del impacto de incrementos de salinidad sobre el crecimiento y mortalidad de *P. oceanica* y, finalmente, la simulación de un vertido que permita un seguimiento antes y después de la perturbación. Este proyecto iniciado en Octubre del año 2000 se encuentra todavía en su fase inicial.

Las comunidades de *Caulerpa prolifera* crecen principalmente sobre fondos arenosos y fangosos, en zonas bien iluminadas y aguas relativamente calmadas y cálidas. Se encuentran entre los 2 y los 20 m de profundidad pero suelen formar praderas densas únicamente en fondos someros. Terrados (1991) estudió el efecto de la salinidad sobre esta especie y encontró que valores de salinidad por encima 44 ‰ causaban un estrés muy importante en el alga y el crecimiento se detenía. Conforme aumentaba la salinidad, la tasa de degradación de los frondes se hacía mayor y a 60 ‰ los frondes morían rápidamente. Existen en la literatura referencias que indican que las algas mediolitorales (las que toleran la emersión) pueden soportar variaciones importantes de salinidad (rangos entre 10-100 ‰ según Lobban et al. 1985), mientras que las algas infralitorales (siempre sumergidas) son poco tolerantes a las variaciones de salinidad, en particular a condiciones hiperhalinas (Einav et al. 1995). Así pues, es de esperar que las comunidades de algas infralitorales sean las más vulnerables a los vertidos.

Las comunidades de fondos blandos sin praderas se caracterizan por la dificultad para el asentamiento y la creación de estructuras perdurables. Los principales productores primarios de estos sistemas son algas unicelulares (diatomeas principalmente) con una biomasa baja y elevada tasa de renovación. Las comunidades de organismos que encontramos en estos fondos son, en términos generales, las mismas que en fondos con vegetación pero con distintas densidades. El posible impacto de las salmueras sobre estas comunidades es alto y comportaría una disminución del número de especies y la supervivencia o aparición de unas pocas resistentes a la perturbación. Chesher (1975) en su estudio del impacto biológico del vertido de una planta desalinizadora en Key West (Florida), describe la desaparición de las comunidades originales y la sustitución de estas por pocos organismos característicos de

situaciones de estrés (poliquetos serpúlidos, sabélidos y el crustaceo balano) en las zonas más afectadas por el vertido. Los equinodermos presentaban la máxima sensibilidad al vertido y desaparecían totalmente de la zona afectada. Por lo que respecta a las poblaciones de peces, el comportamiento de estos no parecía afectado por el vertido de salmuera si bien huían claramente de las emisiones turbias asociadas a operaciones de mantenimiento de la planta. Sin embargo, la falta de respuesta de los peces a la salmuera no implica que no estuvieran afectados. El autor describe pequeñas heridas en la piel de algunas especies de peces así como lesiones en hígados de góbidos analizados (posiblemente por altas concentraciones de cobre). No obstante, los resultados del impacto del vertido sobre la fauna móvil no son concluyentes, pues no se pueden separar del posible impacto del propio puerto.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A la vista de la información que disponemos actualmente nos atrevemos a establecer una serie de recomendaciones de cara a la ubicación de los vertidos de plantas desalinizadoras en las costas Mediterráneas. En primer lugar se aconseja su localización en zonas donde el impacto sobre las comunidades bentónicas sea mínimo (preferentemente verter en fondos sin vegetación). Es importante evitar bahías cerradas y sistemas con importante valor ecológico (e.g. praderas de angiospermas marinas). Los vertidos de salmueras deben situarse en zonas con un hidrodinamismo medio o elevado que facilite la dispersión de la sal. Deben evitarse cambios importantes en el régimen hidrodinámico que puedan afectar procesos de sedimentación e intentar que el agua de origen sea de buena calidad para minimizar el tratamiento químico posterior. Finalmente tenemos que destacar la necesidad de investigar los distintos aspectos del impacto de salmueras en nuestro litoral. Son necesarios estudios del impacto de cada elemento del vertido por separado y también de sus posibles interacciones así

como establecer cuales son los límites de tolerancia de las distintas comunidades bentónicas mediterráneas que pueden verse afectadas por los vertidos con el fin de regular y/o minimizar los daños que puedan ocasionar en los fondos marinos.

AGRADECIMIENTOS

A José Luís Buceta y el resto del equipo del Área de Ingeniería Marítima del Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX) por proporcionarnos la base de datos sobre Plantas Desalinizadoras en España y mucha documentación bibliográfica.

Tabla 1.- Sustancias añadidas durante el proceso de desalinización, su función y posible impacto en el sistema.

Compuestos	Origen/ Función	Impacto
Metales pesados: Cu, Fe, Ni, Cr, Zn	corrosión	acumulación en el sistema, estrés a nivel molecular y celular
Fosfatos	anti-incrustantes	macronutriente, eutrofización
BELGARD'2000 (Ac. Málico)	anti-incrustantes	desconocido
Cl ⁻	antifouling	formación compuestos halogenados, carcinógenos y mutagénos
Ácidos grasos	tensoactivos	membranas celulares
Sulfuro de sodio	anticorrosivo, captura O ₂	desconocido
Ácido sulfúrico	anti-incrustante	en grandes cantidades baja significativamente el pH del sistema
Residuos sólidos	limpieza de membranas	turbidez
Salmuera	concentrado de agua de mar	variable
Temperatura	tratamiento	variable

REFERENCIAS

- Chesher, R. H. 1975. Biological impact of a large-scale desalination plant at Key West, Florida. Elsevier oceanography series, vol. 2, pp. 99-164.
- Einav, R., Breckle, S., Beer, S. 1995. Ecophysiological adaptation strategies of some intertidal marine macroalgae of the Israeli Mediterranean coast. *Marine Ecology Progress Serie* 125: 219-228.
- Lobban, C. S., Harrison, P. J., Duncan, M. J. 1985. The Physiological Ecology of seaweeds. Cambridge University Press. Cambridge.
- Marbà, N., Duarte, C. M., Cebrián, J., Gallegos, M. E., Olesen, B., Sand Jensen, K. 1996 Growth and population dynamics of *Posidonia oceanica* in the Spanish Mediterranean coast: Elucidating seagrass decline. *Marine Ecology Progress Series* 137: 207-213.
- Morton, A. J., Callister, I. K., Wade, N. M. 1997. Environmental impacts of seawater distillation and reverse osmosis processes. *Desalination* 108, 1-3, pp. 1-10.
- Pérès, J. M., Picard, J. 1964 Nouveau manuel de bionomie benthique de la Mer Méditerranée. *Rec. Trav. Stat. Mar. Endoume* 31: 5-137.
- Romero, J., Invers, O., Manzanera, M. 2000. Efectos Fisiológicos de los vertidos de aguas de rechazo de estaciones desaladoras en praderas naturales de *Posidonia oceanica*. Fase I. Informe proyecto de colaboración con el Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX).
- Terrados, J. 1991. Crecimiento y producción de las praderas de macrófitos del Mar Menor, Murcia. Tesis de Doctorado, Univ. de Murcia, 229 pp.
- Vries, M. B., Delvigne, G. A. L. Thabet, R. A. H. 1997. Relocation of desalination plant's outfall in the U.A.E. in order to minimise environmental damage. IDA world congress on desalination and water reuse, Madrid.

