

Impacto ambiental de las desaladoras sobre las comunidades bentónicas marinas

Juan Manuel Ruiz Fernández



DESCRIPTORES

PLANTAS DESALADORAS
VERTIDOS HIPERSALINOS
POSIDONIA OCEANICA
BIODIVERSIDAD MARINA

Introducción

La desalación de agua marina se presenta actualmente como la principal apuesta tecnológica para satisfacer la demanda de agua de las regiones del litoral mediterráneo español. El método de desalación más extendido es el de ósmosis inversa, probablemente debido a sus menores costes y sus bajos consumos energéticos en comparación con otros sistemas existentes.¹ Como consecuencia de este proceso, se produce el vertido de un agua de rechazo hipersalino o salmuera, que es vertida al mar (Fig. 1). La salinidad de este vertido es variable, dependiendo del origen de la captación. En el caso de desaladoras de agua de mar es significativamente superior a la salinidad media a la que se encuentran los organismos que componen los hábitats y biocenosis de los ecosistemas marinos costeros mediterráneos (37-38‰). Las comunidades bentónicas se encuentran adaptadas a estos ambientes de salinidad casi constante, por lo que la susceptibilidad de dichas comunidades al incremento de la salinidad causado por un vertido de estas características (y, por tanto, su impacto ambiental) es esperable que sea elevado. Esta circunstancia, junto con la previsión de construir un considerable número de plantas desaladoras durante los próximos años (especialmente concentradas en el Levante y Sur peninsular), ha suscitado una inmediata y creciente preocupación por parte de científicos y gestores por el alcance, magnitud y consecuencias de tales impactos sobre el ecosistema marino. El debate así originado parte de una situación poco ventajosa ya que, debido a la novedad de este tipo de impactos, apenas se dispone del conocimiento científico para prever los efectos de los vertidos hipersalinos sobre las biocenosis marinas y, por tanto, para aplicar las medidas técnicas necesarias para atenuar parcial o totalmente tales impactos. En el presente artículo se analizan algunos aspectos clave de esta problemática, así como las diferentes solu-

ciones y alternativas que actualmente se barajan para compatibilizar el desarrollo de la desalación con la conservación de la biodiversidad marina.

Características y comportamiento de los vertidos

La composición de un vertido y su comportamiento en el medio marino son un aspecto fundamental para entender y dimensionar su impacto sobre las comunidades biológicas.

La característica principal del agua de rechazo de las desaladoras de agua de mar es, obviamente, su elevada salinidad, que alcanza valores entre 68 y 90‰. Estos valores son menores si el agua de origen es salobre, captada de pozos o acuíferos, o si la salmuera es diluida antes de ser vertida al mar.² En todo caso, teniendo en cuenta que la salinidad media del las aguas costeras del sureste peninsular se encuentra en torno a los 37,5 psu y que las variaciones en torno a esta media son bastante pequeñas (del orden de $\pm 0,5$ psu),^{3,4} la diferencia de salinidad entre ambas masas de agua es lo suficientemente grande como para que este factor explique por sí solo los cambios que estos vertidos pueden originar en el ecosistema marino, aunque, como veremos, existen otros componentes del vertido que también pueden contribuir a explicar dichos cambios. Esta diferencia de salinidad también explica el particular comportamiento del vertido hipersalino. Por un lado se trata de una masa de agua muy densa que forma una capa sobre el fondo y que se mueve siguiendo las líneas de máxima pendiente. Por otro lado, el grado de estratificación es tan alto que la dilución de esta masa de agua con la capa de agua superior a salinidad ambiente es muy difícil incluso con cierto grado de exposición hidrodinámica. La combinación de estas dos propiedades determina una dispersión de la masa de agua hipersalina sobre escalas espaciales conside-



Fig. 1. Vertido al mar de salmuera de una planta desaladora.

rablemente amplias. Un claro ejemplo es la planta desaladora de Alicante, cuyo vertido, con una elevada salinidad de salida (68 psu), ha mostrado una dilución menor de lo inicialmente esperado y la capa de agua densa hipersalina se ha expandido por el fondo hasta distancias de varios kilómetros, llegando a alcanzar incluso a la pradera de *Posidonia oceanica* más próxima, situada a unos dos kilómetros del punto de vertido.⁵ Este ejemplo pone en evidencia además el contraste entre la excesiva confianza depositada en el empleo de modelos numéricos para simular la dilución y dispersión del vertido y su comportamiento en la realidad. Los resultados de dichos modelos deberían pasar por el filtro del principio de precaución⁶ y ser contrastados con los resultados obtenidos en los programas de vigilancia ambiental, antes de ser utilizados ciegamente en futuros proyectos.

De lo anterior se deduce también que la combinación de factores locales específicos de cada sitio va a moldear la forma y el alcance de los vertidos hipersalinos en cada caso particular. Así, características locales, como la orientación, la pendiente de la plataforma y la complejidad de la topografía submarina, van a ser determinantes a la hora de seleccionar la ubicación de este tipo de vertidos. La topografía submarina es muy importante, pues de ella dependerá que la capa de agua hipersalina discurra por el fondo de una forma más o menos homogénea, es decir, a modo de una capa continua en el espacio, o en forma de ríos. Dicha topografía no solo está determinada por las características geológicas del fondo marino (presencia de rocas, desniveles, etc.) sino también por sus características biológicas, como la presencia de estructuras tridimensionales compactas formadas a partir de procesos de acreción vertical de la vegetación bentónica (matas, terrazas o canales), destacando por sus mayores dimensiones las de la fanerógama marina *Posidonia oceanica* (Fig. 2). Factores ocea-



Fig. 2. Terraza o mata de *Posidonia oceanica*. Son estructuras milenarias (hasta 7.000 años) de varios metros de altura que modifican la topografía submarina en las zonas más próximas a la línea de costa. (Foto: J.M. Ruiz).



nográficos tales como la formación de termoclinas durante el período estival también pueden influir sobre el comportamiento de la capa hipersalina. Así, por ejemplo, se ha llegado a observar en alguna ocasión que la salmuera se desplaza a media agua, sin llegar a alcanzar el fondo, debido a la mayor densidad de la capa de agua fría bajo la termoclina;⁵ situación que puede suponer un cierto alivio para la exposición de los organismos bentónicos a las elevadas salinidades.

Además de la elevada salinidad, la composición química de la salmuera puede afectar también al estado y vitalidad de las comunidades biológicas. Efectivamente, el agua de mar captada es previamente tratada con aditivos químicos para controlar las incrustaciones, el *fouling* y la corrosión. Aunque las concentraciones de estos compuestos son generalmente bajas (< 10 ppm),¹ no se descarta que puedan tener algún tipo de efecto tóxico o estresante sobre los organismos marinos. Los compuestos de cloro son empleados como biocidas para prevenir la formación de *bio-fouling*; estos compuestos son tóxicos, pero son neutralizados antes de llegar a las membranas. El control de la formación de incrustaciones se realiza mediante la adición de polímeros de fosfato. La hidrólisis de estos ortofosfatos, junto con posibles aportes periódicos de materia orgánica procedentes de operaciones de limpieza de membranas, puede originar fenómenos de eutrofia en comunidades vegetales bentónicas, como la proliferación de especies de algas oportunistas y la consiguiente exclusión de especies autóctonas. Para la limpieza de membranas se emplean también detergentes, que son vertidos junto con la salmuera y cuyo potencial tóxico sobre los organismos es bien conocido. Sin embargo, existen alternativas hoy día para el empleo de estos compuestos, reducir sus concentraciones en la salmuera o sus efectos en la calidad del agua (por ejemplo cambios en el pH, nutrientes, etc.), dejando a la salinidad como la principal característica de la salmuera con mayor potencial de afectar a las comunidades biológicas.

Efectos de los vertidos hipersalinos sobre los organismos marinos: el caso de las praderas de *Posidonia oceanica*

Aunque los cambios en la salinidad de la columna de agua pueden afectar a los organismos planctónicos (tanto especies planctónicas propiamente dichas como propágulos o estadios larvarios de especies nectónicas y bentónicas), vamos a centrar nuestra atención sobre las comunidades bentónicas aparentemente más susceptibles al no poder desplazarse o migrar en respuesta a cambios ambientales. Además, precisamente por esta propiedad y su mayor longevidad, son capaces de memorizar los cambios del medio y pueden ser utilizadas como indicadores biológicos de dichos cambios.

Las escasas investigaciones realizadas hasta la fecha sobre el efecto del incremento de la salinidad en los ecosistemas marinos costeros se han centrado en las comunidades de fanerógamas marinas y, más concretamente, sobre las praderas submarinas de *Posidonia oceanica*. Las razones por las que se ha prestado especial atención a esta biocenosis son múltiples. Se trata de una especie endémica del Mediterráneo cuyas

praderas ocupan grandes extensiones entre los 0,5 y 30 metros de profundidad; sus beneficios y servicios al ecosistema (elevada producción primaria, control de la calidad del agua, sedimentación, biodiversidad, etc.) han sido ampliamente reconocidos por la comunidad científica internacional⁷ y la han situado entre las comunidades biológicas de mayor relevancia ecológica para la conservación y gestión del ecosistema marino costero del Mediterráneo. Se encuentran especialmente adaptadas a las condiciones oligotróficas de los ambientes costeros mediterráneos, y sus elevados requerimientos de luz implican el mantenimiento de una alta transparencia de las aguas.⁸ Estas y otras circunstancias (por ejemplo reducida capacidad de colonización y, por tanto, escasa o nula habilidad para recuperarse tras una perturbación) explican su elevada sensibilidad a los cambios ambientales originados por la actividad antrópica,^{9,10,11} causa principal de la regresión de estas comunidades en el litoral mediterráneo.

Posidonia oceanica es una especie estenohalina, es decir, que no puede vivir en ambientes costeros con grandes fluctuaciones de la salinidad.¹² Está ausente tanto en la desembocadura de ríos como en lagunas costeras hipersalinas, lo que indica que su rango de tolerancia a la salinidad no es tan amplio como el observado en otras especies de fanerógamas marinas. Tradicionalmente se ha considerado que la salinidad no es un factor importante en la autoecología de *Posidonia oceanica*, ya que sus valores suelen ser bastante estables en los ambientes en que esta especie es dominante. Por esta razón los estudios realizados sobre el control de su ciclo productivo, su distribución y supervivencia no han incluido nunca este factor. Este vacío de conocimiento científico, junto con las perspectivas de desarrollo de la desalación y la necesidad de evaluar su impacto ambiental, ha propiciado la puesta en marcha de los primeros proyectos científicos dirigidos a establecer los límites de tolerancia de esta especie a la salinidad y la influencia de este factor en la composición y funcionamiento de este valioso y complejo ecosistema. Este fue precisamente el objetivo de la primera de estas iniciativas, realizada entre los años 2001 y 2003, fruto de una colaboración múltiple entre la sociedad estatal ACSegura, el CEDEX, la Universidad de Barcelona, el CEAB (CSIC), la Universidad de Alicante y el Centro Oceanográfico de Murcia (IEO). Para alcanzar dicho objetivo se plantearon tres niveles de estudio diferentes: 1) experimentos de mesocosmos en laboratorio mediante el estudio de la respuesta de la planta al incremento de la salinidad en acuarios, bajo condiciones ambientales (temperatura y luz) controladas, 2) simulación in situ del incremento de la salinidad mediante la realización de un vertido de salmuera a pequeña escala sobre parcelas experimentales en una pradera de *Posidonia oceanica* (Fig. 3), y 3) estudio de los efectos de un vertido real de salmuera de una planta desaladora en funcionamiento sobre la pradera. Los detalles de estos trabajos y sus resultados pueden ser consultados en otras publicaciones.^{3, 13, 14, 15} A continuación se resumen las conclusiones más relevantes tanto desde el punto de vista de la ecología de *Posidonia oceanica* como de la gestión de los vertidos de salmueras en nuestras costas.

Tal como se esperaba, el límite de tolerancia de *Posidonia* a los incrementos de la salinidad es muy bajo. A partir de incrementos de aproximadamente 1 psu por encima de la salinidad media del agua (es decir, a partir de valores medios de 38,4 psu en este caso) se observaron efectos negativos significativos en diferentes descriptores de la estructura de la pradera, la vitalidad de sus tejidos, el crecimiento foliar, el estado fisiológico de las plantas y su supervivencia (Fig. 4). La mortalidad total de la pradera se observó a partir de salinidades de 42 psu, bastante baja comparada con la tolerancia absoluta de otras especies de fanerógamas marinas a la salinidad alta: 70 psu para el caso de *Halophila ovalis*,¹⁶ 72 psu en el caso de *Halodule* spp y 60 psu en el de *Thalassia* spp.¹² También se detectaron efectos a corto plazo en algunos componentes faunísticos del ecosistema de *Posidonia*, como los equinodermos (*Paracentrotus lividus*) y los misidáceos (*Leptomysis posidoniae*), a partir de valores de salinidad de 40 psu, siendo la intensidad de estos efectos positivamente correlacionados con la temperatura. Estos y otros grupos faunísticos se encuentran estrechamente relacionados con las praderas y juegan un importante papel trófico bien como herbívoros, detritívoros o como fuente de alimento para niveles tróficos superiores (depredadores), por lo que la degradación de la pradera por los vertidos de salmuera tiene consecuencias que van más allá de la desaparición de la vegetación bentónica y alcanzan dimensiones ecosistémicas.

Los resultados obtenidos en estas primeras experiencias ponen en evidencia la elevada sensibilidad de las praderas de *Posidonia oceanica* a incrementos pequeños de la salinidad del agua causados por los vertidos de salmuera. El margen de actuación es, por tanto, estrecho y, en consecuencia, será necesario extremar precauciones para evitar la degradación de este valioso ecosistema a medida que progresa el desarrollo de la desalación en nuestro litoral. La validez de estos resultados reside principalmente en la calidad científica de sus planteamientos y, sobre todo, en la coherencia entre las conclusiones obtenidas por diferentes equipos de especialistas y bajo diferentes tipos de aproximación experimental. Además, los primeros resultados obtenidos en los programas de seguimiento ambiental de las primeras plantas desaladoras en funcionamiento apoyan las conclusiones de los trabajos anteriores. Efectivamente, en algún caso ya se ha detectado una reducción significativa de la vitalidad de *Posidonia oceanica* en puntos de la pradera en los que la salinidad ha superado el umbral de 38,4 psu con cierta frecuencia.⁵

No obstante, no se trata ni mucho menos de conclusiones absolutas y definitivas. Es cierto que son los únicos datos disponibles hasta ahora en los que basar unos criterios de actuación, pero deben ser aplicados con precaución. Dichas conclusiones deben ser contextualizadas bajo las condiciones específicas en que fueron realizados los muestreos y experimentos.^{3, 13, 14, 15} Así, por ejemplo, los resultados obtenidos tanto en los experimentos de laboratorio como en los realizados in situ, se refieren a exposiciones de las plantas a períodos cortos de alta salinidad (15-90 días; ver Fig. 4) y no sabemos qué ocurre bajo unas condiciones de exposición crónica tal y

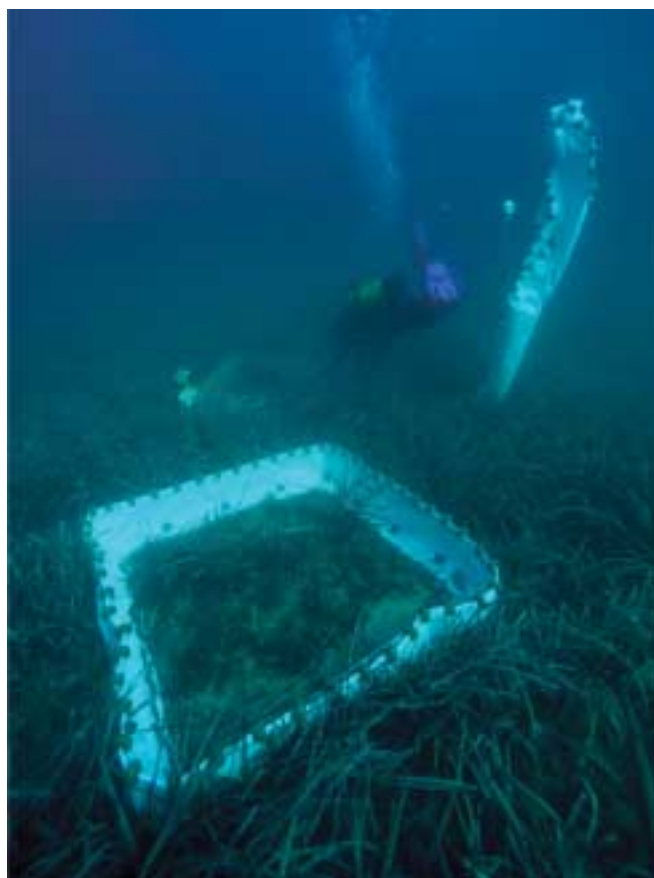


Fig. 3. Parcelas experimentales de tres metros cuadrados empleadas para estudiar in situ la respuesta de *P. oceanica* al incremento de la salinidad. La salmuera era aportada desde una planta desaladora piloto (200 m³/día) a diferentes salinidades experimentales. (Foto: J. Vera).

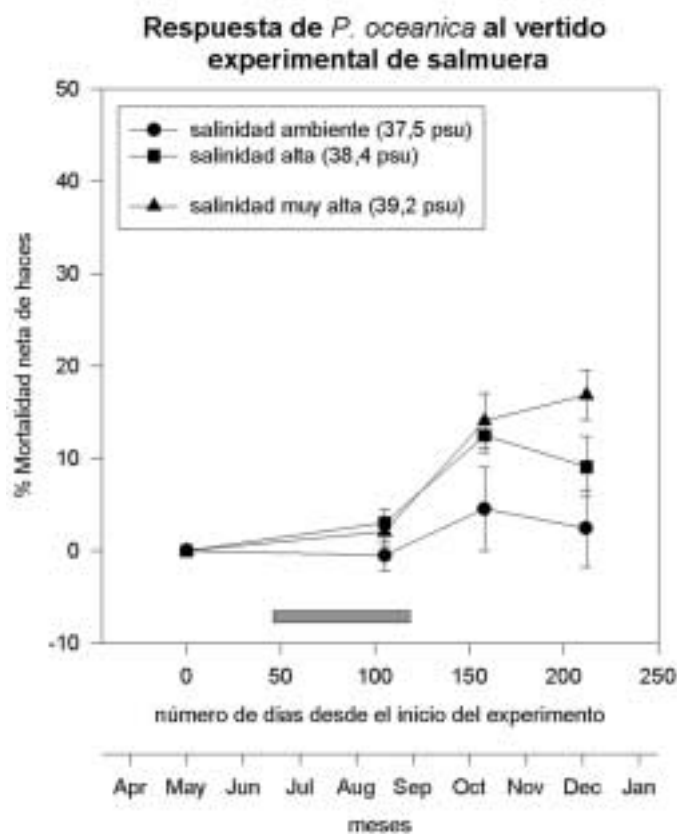


Fig. 4. Efecto del incremento de la salinidad sobre la mortalidad de *P. oceanica*. La barra gris sobre el eje de abscisas representa el período durante el cual las plantas estuvieron expuestas a los diferentes tratamientos experimentales (60 días aprox.).

CUADRO 1**Otras comunidades bentónicas marinas de especial relevancia ecológica****A. Infralitoral**

- Plataformas de Vermétidos: se trata de estructuras biogénicas construidas sobre la roca por las colonias del molusco vermético *Dendropoma petraeum* cuyos intersticios van siendo cementados por algas calcáreas que le dan el aspecto característico de una cornisa calcárea a nivel del mar, justo al inicio del piso infralitoral. Además de las especies características de las comunidades fotófilas que se instalan sobre estas cornisas calcáreas, el entramado de túneles y grietas de su interior alberga una de las más diversas comunidades esciáfilas y endolíticas que se conocen.
- Céspedes de *Cystoseira* sp: son algas pardas (feófitos, Orden Fucales) de porte mediano que desarrollan un estrato arbóreo sobre sustratos rocosos bien iluminados en zonas muy próximas a la superficie (*C. mediterránea*, *C. compressa*, etc.), aunque también existen especies esciáfilas en zonas rocosas profundas (*C. espinosa*, *C. zosteroides*, etc.). Sus densas formaciones semejantes a pequeños bosques son altamente productivas y albergan una elevada riqueza específica de algas y animales, especialmente en las comunidades esciáfilas, en las que tan solo el número de especies de macroalgas catalogadas ha resultado ser espectacular (hasta 200 especies)!¹⁷ Formaciones similares pueden ser también atribuidas a otras especies de feófitas de porte similar, como *Sargassum vulgare* y *Dyctiopsis membranacea*.
- Comunidades de algas fotófilas: en ausencia del estrato arbóreo de feófitos, la roca infralitoral fotófila se encuentra colonizada por una rica y abundante comunidad algal cuyas especies dominantes son *Halopteris* sp, *Padina pavonica* y *Cladostephus* sp. La fauna que albergan estas formaciones algales es muy diversa y su abundante y variada comunidad de invertebrados es el soporte trófico de una también diversa comunidad íctica característica de los fondos rocosos infralitorales.
- Praderas de *Cymodocea nodosa* y *Zostera noltii*: además de *Posidonia oceanica*, aparecen en nuestras costas otras especies de fanerógamas marinas cuyas praderas ocupan extensiones menos importantes pero cuyo papel ecológico es igualmente relevante, como son *Cymodocea nodosa* y *Zostera noltii* (Figs. 5 y 6). Mientras que la primera puede formar praderas entre la superficie y los 25 metros de profundidad, *Z. noltii* es de porte mucho más pequeño y aparece en zonas muy someras y resguardadas del litoral. En el archipiélago Canario, las praderas de *C. nodosa* (conocidas como *Sebadales*) son el equivalente ecológico de las praderas de *P. oceanica* del Mediterráneo.

B. Circalitoral

- Fondos de *Maërl*: son fondos sedimentarios dominados por algas rojas (rodófitos) calcáreas libres y concrecionadoras que aparecen ocupando grandes extensiones entre los 25 y los 100 metros de profundidad (Fig. 7). Forman concreciones calcáreas denominadas rodolitos cuyo crecimiento es extremadamente lento (0,01-2,7 mm/año), y sus acumulaciones son el hábitat de una extraordinariamente diversa comunidad algal (300 especies) y animal (700 especies).¹⁷
- Coralígeno rocoso: son fondos rocosos circalitorales cuyo componente algal es escaso pero dominado por algas calcáreas concrecionadoras constructoras de hábitat. Sobre estas comunidades también pueden aparecer especies algales de porte arbóreo, como las ya mencionada *Cystoseira* sp, pero también otros feófitos de gran porte, como *Phyllaria* sp o *Laminaria rodriguezii*. Su diversidad y riqueza de especies animales ha sido comparada con la de los arrecifes de coral.¹⁸ Es el hábitat característico de poblaciones de corales blandos (gorgonias), colonias de briozoos, esponjas y ascidias.



Figs. 5 y 6. Aspecto los fondos colonizados por las fanerógamas marinas: en la foto de arriba, *Cymodocea nodosa*, con *Posidonia oceanica* al fondo; y en la foto de abajo *Zostera noltii*. (Fotos: J.M. Ruiz).



Fig. 7. Aspecto de los rodolitos característicos que forman las especies de algas rojas que componen las comunidades de Maërl, en este caso *Lithothamnion valens*. (Foto: J.M. Ruiz).

como ocurre ante un vertido real. Tampoco conocemos todavía cómo influyen otros factores, como la temperatura o la luz, en la respuesta de *Posidonia oceanica* al incremento de la salinidad, y la mayoría de los descriptores empleados indican una respuesta tardía al impacto (es decir, cuando los efectos implican efectos letales e irreversibles sobre los organismos). Necesitamos desarrollar descriptores más sensibles, a nivel fisiológico, tisular o celular, que nos permitan detectar efectos tempranos subletales y que hagan efectiva la aplicación de medidas correctoras de los vertidos de salmuera. Así, aunque el conocimiento disponible ha sido fruto de un importante esfuerzo, es todavía escaso e insuficiente para aplicar medidas de gestión de los vertidos con un fundamento científico sólido. Por tanto, cualquier decisión en este sentido deberá ir todavía de la mano del principio de precaución.

Otras comunidades bentónicas marinas

Si bien queda claro que las praderas de *P. oceanica* son muy importantes, no hay que olvidar la presencia de otras comunidades biológicas cuya contribución a la biodiversidad y al funcionamiento del ecosistema marino costero es igualmente relevante y, por tanto, deben ser también tenidas en cuenta a la hora de diseñar estrategias de ubicación de las plantas des-

ladoras. Muchas de estas comunidades se basan también en unas pocas especies constructoras de hábitat, sobre las que se instalan biocenosis de elevada diversidad biológica; estas especies son también altamente sensibles al deterioro de la calidad del medio y pueden ser igualmente vulnerables al impacto de los vertidos hipersalinos. Tampoco se conoce nada sobre la tolerancia de estas comunidades al incremento de la salinidad. Algunas ocupan zonas infralitorales más someras, donde aparecen de forma aislada o mezcladas formando mosaicos muy heterogéneos que sirven de refugio y alimento a juveniles y adultos de numerosas especies animales. Otras se encuentran en zonas profundas circalitorales, más allá de los límites profundos de las praderas de *Posidonia oceanica* (25-30 m). Son, por tanto, receptores de los impactos de los vertidos de salmuera, tanto de aquellos realizados desde la línea de costa como los realizados en zonas profundas a través de emisarios submarinos para evitar las praderas de *Posidonia*. La mayor parte de estas biocenosis se encuentran también incluidas en las listas de hábitat y especies cuya conservación es prioritaria (Directiva de Hábitat, Convenio de Barcelona, etc.), aunque su distribución geográfica se encuentra bastante menos estudiada que en el caso de las praderas de *Posidonia oceanica*. En el cuadro 1 se describen algunas de las más significativas.



Dilución del vertido

Se ha comentado anteriormente el peculiar comportamiento de los vertidos de salmuera, particularmente extensos y difíciles de diluir a consecuencia de la extremada estratificación causada por la diferencia de densidades entre la capa hipersalina del fondo y la capa superior a salinidad ambiente. La dilución de la salmuera previa a su vertido mezclándola con agua de mar reduce dicha diferencia facilitando la dilución de la capa hipersalina por acción del oleaje y las corrientes. Como consecuencia es posible reducir el alcance de los vertidos hipersalinos dentro de escalas espaciales razonables, disminuyendo así el impacto sobre las comunidades bentónicas e incluso impidiendo que alcance a hábitats sensibles próximos. Es, sin duda, la alternativa más recomendable desde el punto de vista medioambiental. Otra ventaja añadida es que al mismo tiempo se pueden reducir las concentraciones de los aditivos químicos empleados durante el proceso de desalación hasta concentraciones muy pequeñas, e incluso indetectables.

En el caso de que se utilicen emisarios, la dilución del vertido puede ser también incrementada en la salida del efluente mediante el empleo de difusores específicamente diseñados para tal fin (número de chorros, ángulo de inclinación, profundidad, etc.). En ningún caso el empleo de estos métodos de dilución debería justificar el vertido directo sobre ecosistemas sensibles, ya que no garantizan la ausencia de riesgo ambiental para tales ecosistemas y contradicen el principio de precaución por el que deben estar regidas estas actuaciones.⁶

Vertido en infraestructuras ya existentes

Otra alternativa interesante y poco explotada es realizar previamente el vertido de salmuera en infraestructuras ya existentes, como dársenas portuarias, canales, etc. En este caso deberían aplicarse otros tipos de medidas que permitieran la dilución y dispersión del vertido en el interior de dichas infraestructuras, ya que si no la salmuera simplemente se acumularía

y saldría intacta en la conexión de las mismas con el mar abierto. Como ejemplo de esta modalidad de vertido cabe mencionar el aprovechamiento de los canales o emisarios de salida del agua de refrigeración de centrales térmicas, como es el caso de la planta desaladora de Carboneras (Almería).

Combinando alternativas:

el caso de la planta desaladora de Jávea (Alicante)

La búsqueda de localidades que permitan una combinación de varias de las alternativas anteriores es la opción que sin duda permitirá llegar a las soluciones medioambientalmente más aceptables. Un ejemplo interesante en este sentido es la planta desaladora de la localidad alicantina de Jávea. La salmuera de esta planta se vierte en un canal artificial de unos 700 metros de longitud que desemboca en una playa próxima. Previamente a este vertido, la salmuera (68 psu) es diluida en una proporción 1:4 con agua de mar hasta reducir su salinidad hasta 44 psu. Además, la descarga de este vertido diluido se realiza a través de dieciséis difusores que originan una dilución adicional. El resultado es que, desde la salida del canal, la extensión de la zona de fondo marino afectada por el vertido es como mucho de 300 metros y no llega a alcanzar en ningún caso a la pradera de *Posidonia oceanica* situada en sus proximidades, tal y como lo demuestran los trabajos de seguimiento realizados en dicha pradera.¹⁹ Es un ejemplo claro de cómo mediante un trabajo previo de análisis de alternativas y sentido común, el desarrollo de la desalación y la conservación de la biodiversidad marina de nuestro litoral pueden llegar a ser objetivos compatibles y reales. □

Juan Manuel Ruiz Fernández

Investigador del Centro Oceanográfico de Murcia
Instituto Español de Oceanografía

Referencias

- Morton, A., Callister, I.K., Wade, N.M., "Environmental impacts of seawater distillation and reverse osmosis processes", *Desalination*, 108, 1998, pp. 1-10.
- Sánchez Lizaso, J.L., Fernández Torquemada, Y., González Correa, J.M., Carratalá Jiménez, A., Valle, C., Forcada, A., Cano, F. (2004) "Resultados del programa de vigilancia ambiental de la IDAM de Jávea (Alicante)", *V Congreso Nacional AEDYR. La desalación en el sur del Mediterráneo*, 24-25 de Noviembre, 2004, Almería, España.
- Fernández Torquemada, Y., Sánchez Lizaso, J.L. "Effects of salinity on leaf growth and survival of the Mediterranean seagrass *Posidonia oceanica* (L.) Delile", *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 320, 2005, pp. 57-63.
- Ruiz, J.M., Sabah, S., Mas, J., "Estudio experimental in situ sobre los efectos de incrementos de salinidad sobre la fanerógama marina *Posidonia oceanica*", Informe del Instituto Español de Oceanografía, Centro Oceanográfico de Murcia, 2003, 66 pp.
- Fernández Torquemada, Y., Sánchez Lizaso, J.L., González Correa, J.M., "Preliminary results of the monitoring of the brine discharge produced by the SWRO desalination plant of Alicante (SE Spain)", *Desalination*, 182, 2005, pp. 389-396.
- Cooney, R., *The Precautionary Principle in Biodiversity Conservation and Natural Resource Management: An issues paper for policy-makers, researchers and practitioners*, IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge, UK, 2004, XI + 51 pp.
- Duarte, C.M., "Marine biodiversity and ecosystem services: an elusive link", *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 250, 2000, pp. 117-131.
- Ruiz, J.M., Romero, J., "Effects of in situ experimental shading on the Mediterranean seagrass *Posidonia oceanica*", *Marine Ecology Progress Series*, 2001, 215, pp. 115-120.
- Ruiz, J.M., Romero, J., Pérez, M., "Effects of fish farm loadings on seagrass (*Posidonia oceanica*) distribution, growth and photosynthesis", *Marine Pollution Bulletin*, 42, 2001, pp. 749-760.
- Ruiz, J.M., Romero, J., "Effects of disturbances caused by coastal constructions on spatial structure, growth dynamics and photosynthesis of the seagrass *Posidonia oceanica*", *Marine Pollution Bulletin*, 46, 2003, pp 1523-1533.
- Medina, J.R., Tintoré, J., Duarte, C.M., "Las praderas de *Posidonia oceanica* y la regeneración de playas", *Revista de Obras Públicas*, 3.409, 2001, pp. 31-43.
- Phillips, R.C., Méñez, E.G., *Seagrasses*, Smithsonian Institution Press, Washington D.C., 1988, 104 pp.
- Buceta, J.L., Fernández Torquemada, Y., Gacia, E., Invers, O., Mas, J., Romero, J., Ruiz, J.M., Ruiz Mateo, A., Sabah, S., Sánchez Lizaso, J.L., "Investigación conjunta sobre la tolerancia de *Posidonia oceanica* a incrementos de la salinidad", *Ingeniería Civil*, 132, 2003, pp. 111-116.
- Sabah, S.C., Ruiz, J.M., Mas, J., "Response of the Mediterranean seagrass *Posidonia oceanica* to salinity increase", *Biología Marina Mediterránea*, 11/3, 2004, p. 204.
- Invers, O., Gacia, E., Romero, J., Manzanera, M., Ballesteros, E., "Impact of the brine from a desalination-plant on a shallow *Posidonia oceanica* meadow in Formentera (Balearic Islands)", enviado a *Marine Pollution Bulletin*.
- Ralph, P.J., "Photosynthetic responses of *Halophila ovalis* (R.Br) Hook f. to osmotic stress", *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 227, 1998, pp. 203-220.
- Luque, Á.A., Templado, J. (coords.), *Praderas y bosques marinos de Andalucía*, Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía, Sevilla, 2004, 336 pp.
- Ros, J., Romero, J., Ballesteros, E., Gili, J.M., "Buceando en aguas azules", en: Margalef (ed.), *El Mediterráneo Occidental*, Omega, Barcelona, 1989, pp. 235-297.
- Fernández Torquemada, Y., González Correa, J.M., Carratalá Jiménez, A., Sánchez Lizaso, J.L., "Medidas de atenuación del posible impacto ambiental del vertido de las desaladoras de ósmosis inversa: el ejemplo de Jávea (Alicante)", *IV Congreso Ibérico de Gestión y Planificación del Agua*, 8-12 de diciembre, 2004, Tortosa, Tarragona, España.

