

# LOS VERTIDOS AL MAR DE LAS PLANTAS DESALADORAS

Texto: **Antonio Ruiz Mateo**  
Centro de Estudios de Puertos y Costas CEDEX  
Ministerio de Fomento  
Ministerio de Medio Ambiente

**L**a cantidad de agua existente en el planeta es enorme. Se estima (Shiklomanov, 1999) que la hidrosfera contiene unos 1 400 millones de  $\text{km}^3$ . De esta cantidad, el 95,5% se encuentra en océanos y mares, cuya elevada salinidad la hace inservible para cualquier uso masivo (agrícola, industrial o humano) salvo que se someta a una desalación previa. El resto es agua dulce y se distribuye de la siguiente forma: un 68,9% está en forma permanente como hielo o nieve cubriendo las regiones polares o montañosas, un 29,9% son aguas subterráneas, un 0,9% se encuentra en formas diversas (incluyendo la humedad del suelo) y tan solo un 0,3% (o sea, 4,2 millones de  $\text{km}^3$ ) se encuentra como agua superficial en lagos, ríos y embalses. Debe tenerse en cuenta que solo las aguas superficiales y una pequeñísima fracción de las aguas subterráneas son utilizables sin serias limitaciones técnicas o económicas.

Por otra parte, para un desarrollo sostenible solo deben considerarse los recursos renovables, que

vienen determinados por el ciclo hidrológico. El valor medio de los recursos hídricos renovables a nivel mundial (sin considerar la reutilización ni la desalación) se estima en 42 750  $\text{km}^3$  anuales, lo que supone un 1% del volumen de las aguas superficiales. Pero este valor es muy variable en el tiempo y en el espacio. Seis países acaparan casi el 50% de los recursos hídricos (Brasil, Canadá, Rusia, Estados Unidos, China e India) y cinco grandes ríos acaparan el 27% de dichos recursos renovables (Amazonas, Ganges-Brahmaputra, Congo, Amarillo y Orinoco) (Valero y otros, 2001).

Una mejor indicación de esta desigualdad espacial viene dada por el cociente entre los recursos hídricos medios anuales de un país y su población. En la tabla siguiente se exponen los valores de los recursos anuales per cápita para una selección de países. Se suele considerar (Al-Gobaisi, 1997) que por debajo de los 1.000  $\text{m}^3/\text{hab}$  existe estrés hídrico: limitaciones para el desarrollo y/o riesgo de utilización de recursos no renovables (p.e.: sobreexplotación de acuíferos)

## RECURSOS MEDIOS ANUALES POR HABITANTE

País	m <sup>3</sup> /hab	País	m <sup>3</sup> /hab
Canadá	120.000	<b>España</b>	<b>2.775</b>
Noruega	87.691	China	2.231
Brasil	45.200	Reino Unido	1.219
Rusia	29.115	Alemania	1.165
Australia	18.596	Argelia	460
Argentina	17.000	Arabia Saudita	119
Angola	15.376	Libia	100
Estados Unidos	11.500	Emiratos Árabes Unidos	64
Méjico	3.670	Egipto	43
Francia	3.065	Kuwait	11



Tanque de ensayos

Naturalmente, este mismo cálculo puede hacerse para las diferentes cuencas y subcuencas hidrográficas de un mismo país.

Para una correcta interpretación de estos datos debe tenerse en cuenta que están basados en criterios puramente hidrológicos. Si se consideran las limitaciones impuestas por el mantenimiento de caudales ambientales tanto en el curso de los ríos como en sus desembocaduras (recuérdese el caso del Ebro) así como otras medidas de protección de los ecosistemas acuáticos previstas en la Directiva Marco del Agua, los recursos utilizables resultan considerablemente menores. Por otra parte, tampoco se han considerado la reutilización, que disminuye las necesidades del sistema, ni la desalación, que puede considerarse como una fuente no convencional de recursos renovables.

En resumen, los recursos hídricos están distribuidos de manera muy desigual. Además, existen muchas zonas, de extensiones muy variables e irregularmente distribuidas, donde existe estrés hidráulico.

### **LA DESALACIÓN, ALTERNATIVA EN AUGE Y CON GRAN PROYECCIÓN DE FUTURO**

Para encarar este problema existen tres líneas principales de actuación: aumentar la oferta, reducir la demanda y redistribuir los recursos, con distintos tipos de medidas dentro de cada una de ellas (p.e.: desalación, reutilización o trasvase). En cada caso, en función de las condiciones geográficas, hidrológicas, ecológicas, socioeconómicas e incluso políticas, se elige la combinación más adecuada de medidas a tomar.

Entre las medidas orientadas a aumentar los recursos disponibles, la desalación se ha convertido en una de las más importantes. De acuerdo con el Informe nº 18 de la Internacional Desalination Association (IDA, 2004), a finales de 2003 el número de plantas desaladoras existentes en el mundo se elevaba a 17.348, con una capacidad de producción instalada total de 37,7 Hm<sup>3</sup>/día. El informe nº 17 indicaba que a finales de 1999 existían 13.600

plantas desaladoras con una capacidad instalada de 25,9 Hm<sup>3</sup>/día, lo que significa que en solo 4 años se ha producido un incremento del 46%. Esta capacidad instalada se reparte de la siguiente forma (Torres Corral, 2005): Oriente Medio, 60%; Estados Unidos, 16%; Unión Europea, 10% (5% en España, 2% en Italia y 3% en el resto); Países árabes mediterráneos, 6%; Resto del mundo, 8%.

En lo que respecta a España, a finales del año 2000 existían unas 750 desaladoras en funcionamiento con una producción de 1,2 Hm<sup>3</sup>/día (Miguel Torres, 2005). Actualmente (noviembre 2006) existen más de 900 con una capacidad instalada de 1,54 Hm<sup>3</sup>/día (AEDyR), repartida prácticamente al 50% entre aguas marinas y aguas salobres. Estas cifras colocan a España en quinto lugar mundial en cuanto a capacidad total y en cuarto lugar si se considera solamente la desalación de agua de mar. Por otra parte, el programa AGUA prevé producir otros 1,1 Hm<sup>3</sup>/día en un plazo de 5 años.

## CARACTERÍSTICAS DEL EFLUENTE DE UNA PLANTA DESALADORA

El residuo más importante de una planta desaladora por su magnitud está constituido por las aguas de rechazo. Una planta con una producción de 70.000 m<sup>3</sup> / día de agua producto generará un vertido líquido de 1 m<sup>3</sup> / s si es de ósmosis inversa alimentándose de agua de mar (conversión del 45 %), de 0,2 m<sup>3</sup> / s si es de ósmosis inversa alimentándose de agua salobre (conversión del 80 %) y de 7,3 m<sup>3</sup> / s si es de destilación (conversión del 10%).

Los contaminantes que pueden ir asociados a los vertidos líquidos de las plantas desaladoras de forma permanente o periódica se pueden clasificar de la forma siguiente (Ruiz Mateo, 2001) :

- a) Sustancias aportadas por el agua de alimentación
- b) Sustancias procedentes de la limpieza de filtros y membranas
- c) Aditivos y derivados para eliminar la turbidez, para corregir el pH o para prevenir las incrustaciones, el crecimiento biológico, la corrosión y la formación de espumas.
- d) Calor
- e) Productos de la corrosión

Los epígrafes d), e) y parte del c) solo son de aplicación a las plantas de destilación, que desde hace más de una década no se construyen en España.

En principio, la componente de las aguas de rechazo debida a las sustancias aportadas por el agua de alimentación es la menos preocupante, sobre todo cuando se vierte al mismo medio de donde se extrae el agua (como sucede cuando el

agua se toma del mar) ya que no se añade ninguna carga contaminante al sistema. Sin embargo, existen algunas excepciones importantes a esta regla:

- ❖ Cuando el agua se toma de pozos profundos, además de estar exenta de oxígeno, suele tener concentraciones elevadas de sulfuro de hidrógeno que resulta tóxico para los organismos acuáticos. Afortunadamente ambos problemas tienen la misma sencilla solución: un tratamiento de aireación.
- ❖ A veces estas aguas profundas presentan también niveles de radiactividad superiores a los límites admitidos para aguas superficiales, problema que se agrava por los altos factores de reconcentración que tienen las plantas RO con aguas salobres. Algo similar sucede con los fluoruros y con algunos metales (USEPA, ASCE, AWWA, 1996).
- ❖ Cuando el agua bruta se toma del mar y el efluente se vierte al mismo medio, la salinidad habrá aumentado en un 10% si se trata de plantas térmicas y en un 70% si es una planta de ósmosis inversa. Si el vertido se realiza sobre fondos sin vegetación, no presenta problemas, pero si en las proximidades existen comunidades de cierto interés biológico por su productividad, biodiversidad o rareza, deben estudiarse los posibles efectos del aumento de salinidad y decidir si son admisibles antes de autorizar el vertido. En cualquier caso, el diseño de un dispositivo de

vertido que produzca una fuerte dilución en un espacio pequeño (zona de mezcla) hará que sea más fácil encontrar un punto de vertido adecuado sin sobrepasar los límites de tolerancia de estas comunidades.

## COMPORTAMIENTO DEL EFLUENTE CUANDO SE VIERTE AL MAR

Cuando el efluente llega al mar, su energía cinética provoca turbulencias que producen un rápido mezclado parcial con agua del medio receptor incluso si éste está en calma (campo cercano). Además, si el vertido se realiza alejado del fondo o si se hace de manera que se formen chorros que se alejen de éste, la energía potencial debida a la mayor densidad del efluente también contribuye a la creación de turbulencia. Naturalmente, la intensidad de este mezclado y, por lo tanto, la dilución conseguida en las proximidades del dispositivo de vertido aumentarán con la energía cinética del efluente, la del medio receptor (oleaje) y el área de la superficie de contacto entre ambos en la zona turbulenta. La dilución inicial conseguida mediante un tramo difusor con muchos chorros delgados suficientemente separados será siempre mayor que la que se obtiene vertiendo mediante un único canal con o sin rebosadero, aunque también será mayor la carga hidráulica necesaria. De los trabajos realizados en el CEDEX (ensayos en modelos reducidos y medidas en plantas en funcionamiento) desde el año 2000 se pueden hacer las siguientes estimaciones:

### VALORES APROXIMADOS DE LAS DILUCIONES EN EL CAMPO CERCANO (A) (B)

Tipo de dispositivo de vertido	Dilución obtenida
Descarga enterrada en una playa de bolos	2,5
Vertido a un torrente seco, cerca de la desembocadura	4
Chorro libre sobre la escollera de un dique	6
Chorro libre horizontal con la boca situada en el lecho marino	10
Chorro libre en un acantilado©	18
Tramo difusor con varios elevadores y dos bocas por elevador	24
Tramo difusor con varios elevadores y una bocas por elevador	30
(a) Sin oleaje	
(b) En función de los detalles del diseño puede variar entre la mitad y el doble	
(c) Depende mucho de la altura de la boca de descarga y del calado existente al pie del acantilado	

En cualquier caso, a cierta distancia del dispositivo de vertido la turbulencia se atenúa y la mezcla, con mayor o menor dilución, termina formando una capa generalmente hiperdensa<sup>1</sup> que fluye esparciéndose por el fondo y tendiendo a ir cuesta abajo siguiendo la dirección de las máximas pendientes (campo lejano). Este flujo irá rellenando depresiones hasta desbordarlas y tomará caminos preferenciales encauzado por pequeñas vaguadas. Su comportamiento es parecido a ese “vapor” producido por la nieve carbónica que se emplea en muchos espectáculos, que avanza lentamente por el suelo debido a que su densidad es ligeramente superior a la del aire. El espesor inicial depende del caudal, del tamaño del dispositivo de vertido y de la dilución inicial conseguida, pero puede variar entre unos centímetros y unos metros.

A medida que avanza este flujo su ancho va aumentando por esparcimiento lateral (si no está encauzado) y consecuentemente, su espesor disminuye. También se va produciendo lenta pero inexorablemente un intercambio de agua entre la capa hiperdensa y la capa superior, lo que provoca la aparición y continuo engrosamiento de una capa de interfaz con salinidades intermedias entre las de las dos anteriores. Por debajo de ésta, la capa hiperdensa mantiene intactas sus propiedades (salinidad, temperatura, densidad, etc.), pero su espesor se va reduciendo hasta que a cierta distancia desaparece por completo. A partir de aquí, la máxima salinidad del perfil vertical, que sigue dándose junto al fondo, empieza a disminuir hasta que llega un momento en que se hace prácticamente indistinguible de la del medio receptor.

Cuando la capa de interfaz está muy diluida, si el medio receptor está estratificado por temperatura (agua más fría en el fondo que en la superficie), aquella puede separarse del fondo y caminar entre dos aguas por ser su densidad intermedia entre la del fondo y la de la superficie.

1) “Si se trata de una desalobradoradora con bajo factor de conversión, el efluente puede ser menos denso que el agua de mar. Entonces la capa es



*El residuo más importante de una planta desaladora por su magnitud está constituido por las aguas de rechazo. Tanque de ensayos*

## **EL POSIBLE IMPACTO AMBIENTAL DE LOS VERTIDOS. DETERMINACIÓN DE CRITERIOS DE CALIDAD**

Hasta ahora hemos hecho una detallada caracterización de la composición potencial del efluente, lo cual ya nos da una orientación sobre la importancia del posible impacto ecológico del vertido. Pero para estimar el impacto real que tendrá el vertido de una planta desaladora concreta, lo que constituye el objeto de todo Estudio de Impacto Ambiental, se requiere dar dos pasos más: un reconocimiento bionómico de la zona que puede ser afectada por el vertido y una cuantificación de los efectos que dicho vertido tendrá sobre las biocenosis observadas a nivel de individuos, de especies y de comunidades.

En el momento actual podemos decir que es práctica generalizada en España la realización de un reconocimiento bionómico antes de la autorización de un vertido de cualquier tipo (aguas residuales domésticas, industriales, de desaladoras) a las aguas superficiales. De hecho, existen Comunidades Autónomas que han publicado planos de cartografía

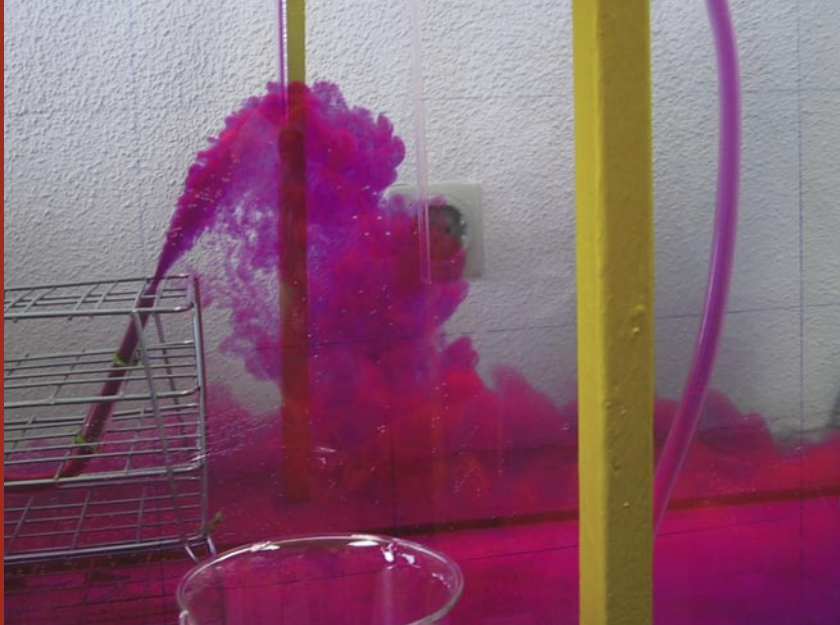
hipodensa y se esparce por la superficie. También se favorece este comportamiento si se trata de una desaladora térmica o si el efluente se mezcla

bionómica de todo el litoral de su competencia (la Región de Murcia, por ejemplo), lo que constituye una herramienta de alto valor para los estudios de impacto ambiental, al menos en la fase de anteproyecto.

Sin embargo, se sabe muy poco sobre los efectos que estos vertidos tienen sobre las biocenosis. Aunque en la literatura científica pueden encontrarse muchos estudios sectoriales altamente especializados, suelen tratarse de estudios para determinar un tipo de efecto de un contaminante específico sobre una especie determinada, y aún así no siempre ofrecen resultados concluyentes.

A este respecto apoyamos aquí la afirmación de Hoepner (1999) en el sentido de que se necesitan Estudios de Impacto Ambiental terminados y publicados. Más aún, necesitamos que se publiquen los resultados de los programas de seguimiento propuestos en dichos estudios, ya que constituyen la forma más directa y fiable de conocer los efectos globales e integrados de efluentes de composición compleja. Un magnífico ejemplo de publicación de este tipo para el vertido de una planta desaladora puede en-

previamente con aguas residuales.



Ensayos en acuarios

contrarse en (Chester, 1975).

La determinación de los criterios de calidad debe basarse en la cuantificación de los efectos que dicho vertido tendrá sobre las biocenosis del entorno y en una elección del nivel y tipo de afección que se considere aceptable, para lo que deben tenerse en cuenta también consideraciones socioeconómicas.

El estudio más completo que se ha realizado hasta el momento a este respecto fue coordinado por el CEDEX<sup>2</sup> como parte de un trabajo encargado por la Sociedad Estatal Aguas de la Cuenca del Segura en el año 2000, y estuvo orientado a la determinación del umbral de tolerancia de la fanerógama marina *Posidonia oceanica*<sup>3</sup>, que forma un cordón prácticamente continuo a lo largo de casi todo el litoral mediterráneo de la costa española. Se evaluó la respuesta de la planta (y de otros elementos del ecosistema como los epífitos o ciertas especies-clave) a los incrementos de salinidad, acometiendo el problema mediante tres enfoques diferentes: Experimentación en acua-

rios, Experimentación in situ y Estudio en zonas de vertido de desaladoras en funcionamiento. La conclusión fue que el umbral de tolerancia para esta especie es muy estrecho, del orden de 1 g/kg de incremento de salinidad (Autores varios, 2003).

Es necesario realizar estudios similares para otras especies marinas de elevado valor ecológico o económico. En particular, sería muy conveniente determinar el umbral de sensibilidad de otra fanerógama muy frecuente en nuestras costas: *Cymodocea nodosa*. No obstante se puede adelantar que será más amplio ya que existen praderas en el Mediterráneo (salinidad de 37,5 psu<sup>4</sup>), en Canarias (35 psu) y hasta en el Mar Menor de Murcia (más de 43 psu), mientras que la *Posidonia oceanica* solo existe en el Mediterráneo.

### CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO DE LOS DISPOSITIVOS DE VERTIDO

El vertido al mar del efluente de una planta desaladora constituye

uno más de los numerosos problemas de diseño que hay que resolver y a veces se convierte en uno de los más difíciles de tratar, más por los márgenes de seguridad impuestos debido a la falta de conocimientos contrastados por la experiencia que por las dificultades técnicas para conseguir las diluciones adecuadas antes de que la mezcla alcance las zonas a proteger. Y esto no sucede solo en España como lo demuestra el siguiente párrafo de la Guía publicada por el Comité de Desalación de la Asociación Americana de Obras Hidráulicas (AWWA, 2004, p. 4):

*Regulations pertaining to concentrate discharge are complex and stringent. In some situations concentrate disposal costs and other disposal issues are so significant that they determine the overall feasibility of a desalting project. As such, concentrate disposal is a key consideration for any desalting project.*

Para un adecuado diseño del dispositivo de vertido deben tenerse en cuenta las siguientes consideraciones:

- ❖ Debe tenerse en cuenta la necesidad de realizar el vertido en condiciones ambientalmente aceptables desde las primeras etapas del diseño de la planta desaladora, particularmente cuando se está decidiendo el emplazamiento de la planta.
- ❖ La extensión de la zona de campo cercano es mucho más pequeña que la del campo lejano (del orden de 1 000 m<sup>2</sup> frente a más de 10 000 m<sup>2</sup>). Si se dispone de poco espacio libre de condicionantes ambientales es preferible diseñar un dispositivo de vertido que consiga la dilución necesaria dentro de los límites del campo cercano. Esto tiene otras ventajas: a) la dilución en el campo cercano es controlable por el proyectista porque depende en gran medida del

2) "Ruiz Mateo, A. (2004) Sistemas de vertido al mar y efectos sobre el medio marino. Curso "El nuevo programa de desalación". Madrid.

3) "Las praderas de *Posidonia* se encuentran incluidas en el anexo I (Tipos de hábitats naturales de interés comunitario para cuya conservación es necesario designar zonas especiales de

conservación) de la Directiva del Consejo 92/43/CEE, de 21 de mayo de 1992, relativa a la conservación de los hábitats naturales y de la fauna y flora silvestres. Está marcado además como tipo de hábitat prioritario,

4) " psu: practical salinity unit. Equivale a un gramo de sal por kilogramo de agua de mar. Como la

densidad de ésta es aproximadamente de 1 030 kg/m<sup>3</sup>, una salinidad de 37,5 psu equivale a una concentración de sales disueltas de 38,6 gramos por litro. Dado que estamos hablando de umbrales muy pequeños, es importante no confundir estas unidades.

diseño del dispositivo de vertido, y b) no es necesario preocuparse de lo que sucede en el campo lejano<sup>5</sup>. Sin embargo tiene el inconveniente de que pueden requerir una obra marítima. Por ejemplo, para un caudal efluente de 1,5 m<sup>3</sup>/s con una salinidad de 65 psu, un tramo difusor de 150 m con 25 elevadores de dos bocas de descarga cada uno de 7 cm de diámetro produciendo chorros ascendentes que formen 60° con la horizontal, situado en una zona con un calado de 10 m consigue que cuando la mezcla llegue al fondo debido a su mayor densidad, el incremento de salinidad sea de tan solo 1 psu.

- ❖ La dilución necesaria depende críticamente del umbral de sensibilidad de las comunidades que puedan verse afectadas. Para un efluente de 65 psu, si el incremento de salinidad admisible es de 1 psu, la dilución necesaria es de 30, mientras que si el umbral es de 2 psu, solo se necesita una dilución de 15. Esto puede influir de manera determinante en la tipología del dispositivo de vertido.
- ❖ Es preferible<sup>6</sup> diseñar el vertido de forma que el campo de salinidades elevadas se encuentre en fondos no vegetados, ya que estos suelen constituir habitats de gran productividad y biodiversidad. Para localizarlos pueden resultar muy útiles las ortofotos disponibles en algunos sitios web (por ejemplo: <http://sigpac.mapa.es/feqa/visor>) o a través del programa Google Earth. También pueden consultarse las cartas náuticas del Instituto Hidrográfico de la Marina donde el tipo de fondo suele indicarse mediante una abreviatura (A: arena; F: fango; Alg: fondo vegetado). Por otra

5) "Esto es importante porque actualmente no existe aún una metodología suficientemente contrastada para calcular cómo varían las salinidades en el campo lejano.

6) Un vertido mediante tramo difusor con chorros ascendentes en zonas de suficiente calado permite



Ensayos canal de escollera

parte, la Dirección General de Costas y los Servicios Cartográficos de las Comunidades Autónomas disponen de fotografías aéreas que también pueden ser de utilidad.

- ❖ En cualquier caso, para el proyecto es necesario disponer de una buena cartografía biónómica de la zona. De esta forma se conocerán mejor los límites y el estado de los fondos vegetados y, sobre todo, el tipo de comunidades presentes.
- ❖ Una forma de disminuir la salinidad del efluente consiste en prediluir en tierra con agua tomada del mar expresamente para ello. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que supone un incremento del coste (por la instalación y por el bombeo) y que aumenta el caudal efluente, lo que hace que las diluciones conseguidas posteriormente en el mar sean menores.
- ❖ Actualmente el único método suficientemente contrastado con datos experimentales

conseguir que cuando la mezcla descienda al nivel en el que se encuentran las plantas del fondo, el incremento de salinidad esté por debajo del umbral de tolerancia. Por lo tanto podría colocarse en un fondo vegetado sin más afección que la puramente mecánica debida a la instalación del difusor. Sin

para el cálculo del comportamiento del vertido es el que se refiere a un chorro individual y siempre que éste no haya impactado con la superficie libre o con el fondo. Existen numerosas publicaciones en las que se pueden encontrar las ecuaciones que gobiernan este proceso y, sobre todo, los valores experimentales de los coeficientes de alimentación del chorro con agua del medio receptor. Además, existe un programa de bajo coste y utilización simple (CORMIX I) que integra estas ecuaciones y permite obtener fácilmente la variación de la salinidad y de las concentraciones de otros contaminantes a lo largo del chorro<sup>7</sup>. También pueden encontrarse en la literatura las ecuaciones y los valores de los coeficientes que gobiernan el comportamiento de la capa hiperdensa cuando está completamente encauzada (análisis bidimensional). Pero faltan todavía procedimientos

embargo, por el momento no conocemos que se haya proyectado ningún vertido de esta forma.

7) Un análisis más detallado de los puntos fuertes y débiles del sistema de programas CORMIX queda fuera del ámbito de este artículo.



Cuando el efluente llega al mar, su energía cinética provoca turbulencias que producen un rápido mezclado parcial con agua del medio receptor incluso si éste está en calma

de cálculo que permitan conocer el comportamiento del vertido en el campo cercano (al menos geometría y dilución obtenida) para los múltiples dispositivos de vertido que se están utilizando y el del campo lejano para flujo no encauzado (análisis tridimensional). Precisamente estos son los objetivos de un trabajo de investigación encargado al CEDEX por la Dirección General del Agua y que está en marcha desde finales de 2004.

- ❖ Dadas las incertidumbres existentes sobre los métodos de cálculo que se están utilizando, los diseños de dispositivos de vertido deberían cumplir las condiciones siguientes:
  - a) El programa de vigilancia propuesto debe incluir al menos unas campañas de medida del campo de salinidades que produce el vertido en los primeros días de funcionamiento de la planta (y tras cada ampliación) así como la instalación de unos conductivímetros autónomos de precisión suficiente en los puntos que se consideren más críticos (p.e.: el punto más cercano al vertido de las praderas a proteger) cuyos resultados

se analizarán semanalmente para comprobar que se cumplen los criterios de calidad establecidos.

- b) El dispositivo de vertido diseñado debe prever una reserva de capacidad para incrementar la dilución por si las mediciones de los conductivímetros autónomos indican que se están sobrepasando los límites de salinidad admisibles. Esto puede conseguirse realizando una dilución previa (o aumentándola si ya existe) y/o modificando el número y diámetro de las bocas de descarga. Para ello debe preverse (quizás incluso construirse) la instalación de predilución y deben instalarse más bocas de descarga de las estrictamente necesarias según los cálculos, que permanecerán cerradas si no resultan necesarias.

## REFERENCIAS

- ❖ Al-Gobaisi, D.M.K. (1997) *Sustainable augmentation of fresh water resources through appropriate energy and desalination technologies*. IDA World Congress on Desalination and Water Reuse. Madrid, España.

- ❖ Autores Varios (2003) *Estudio de los efectos de incrementos de salinidad sobre la fanerógama marina Posidonia oceanica y su ecosistema, con el fin de prever y minimizar los impactos que pudieran causar los vertidos de aguas de rechazo de plantas desaladoras*. Documento de síntesis.
- ❖ AWWA (2004) *Water Desalting Planning Guide for Water Utilities*. Water Desalting Committee of the American Water Works Association. Wiley.
- ❖ Chester, R.H. (1975) *Biological impact of a large-scale desalination plant at Key West, Florida*. Elsevier Oceanography Series, Vol. 12, 99-181.
- ❖ Hoepfner, T. (1999) *A procedure for environmental impact assessment (EIA) for seawater desalination plants*. Desalination 124, 1-12.
- ❖ IDA (2004) *2004 IDA Worldwide Desalting Plants Inventory Report nº 18*. International Desalination Association.
- ❖ Ruiz Mateo, A. (2001) *Aspectos ambientales de las plantas desaladoras*. Curso "La desalación: ¿complemento al Plan Hidrológico Nacional?". Almería.
- ❖ Shiklomanov, I. (1999) *World Water-Resources: Modern Assessment and Outlook for 21st Century*. Hydrological Institute. San Petersburgo.
- ❖ Torres Corral, M. (2005) *Desalación y planificación hidrológica hoy*. Ingeniería y Territorio nº 72.
- ❖ USEPA, ASCE, AWWA (1996) *Management of Water Treatment Plant Residuals*.
- ❖ Valero, A., Uche, J., Serra, L. (2001) *La desalación como alternativa al PHN*. CIRCE y Univ. De Zaragoza para el Gobierno de Aragón.



Ensayos de difusor tomados con cámara submarina