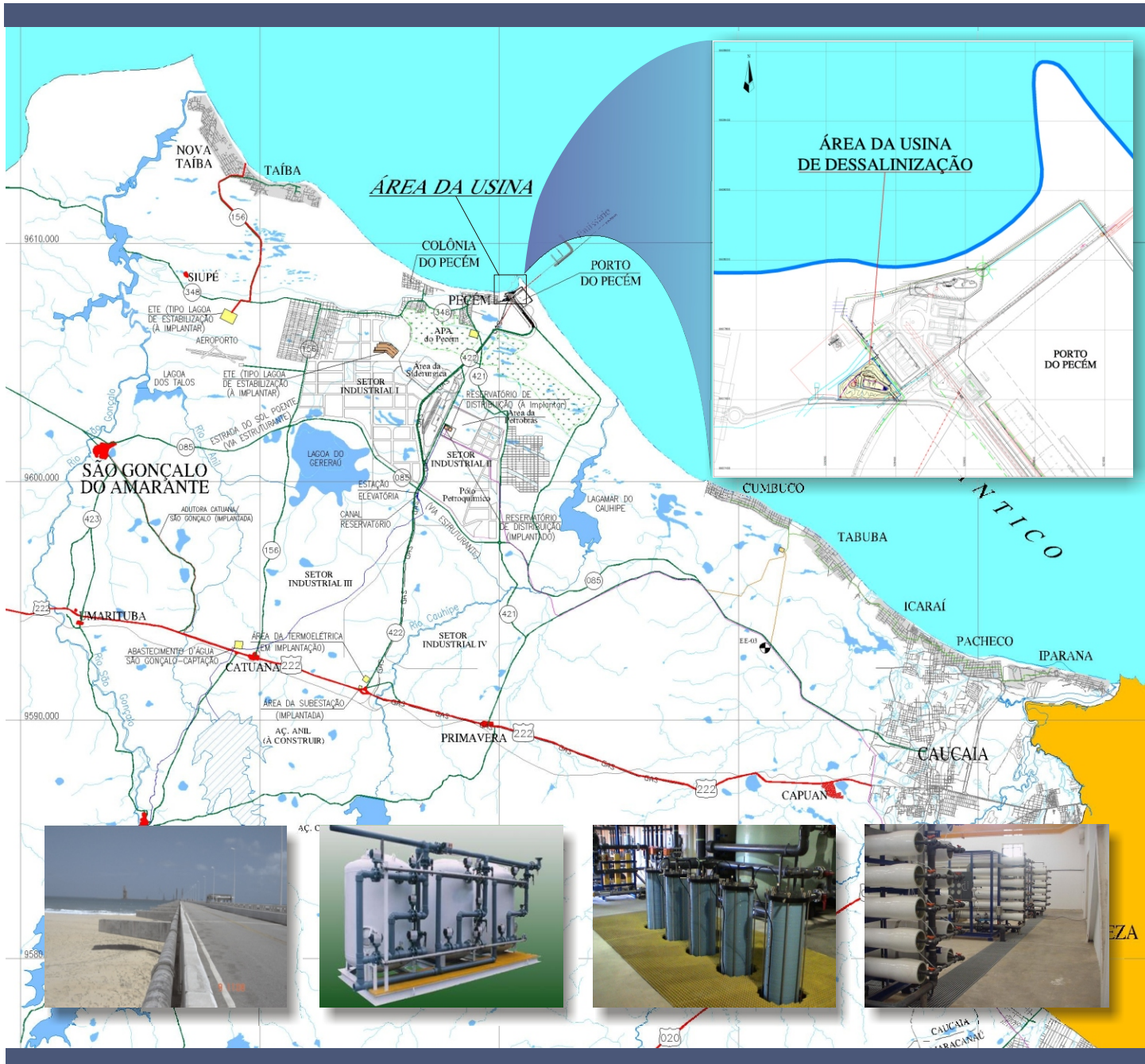


Estudos Necessários para Instalação de Usina de Dessalinização de Água do Mar no Complexo Industrial e Portuário do Pecém



RELATÓRIO FINAL TOMO VII -ARTIGOS E INFORMAÇÕES TÉCNICAS

Setembro de 2006



**ESTUDOS NECESSÁRIOS PARA A INSTALAÇÃO DE USINA DE
DESSALINIZAÇÃO DE ÁGUA DO MAR NO COMPLEXO
INDUSTRIAL E PORTUÁRIO DO PECÉM**

ARTIGOS E INFORMAÇÕES TÉCNICAS

Setembro de 2006



APRESENTAÇÃO

APRESENTAÇÃO

Este documento atende ao objeto do Contrato no 046/2005/COGERH – Elaboração dos Estudos Necessários para a Instalação de Usina de Dessalinização de Água do Mar no Complexo Industrial e Portuário do Pecém.

Tais estudos, definidos nos termos de referência integrantes do edital de licitação, foram segmentados de acordo com a seguinte itemização:

- Levantamento dos dados básicos
- Estudos de Viabilidade Técnica
- Estudos de Viabilidade Econômica e Financeira
- Projeto Básico
- Estudos ambientais
- Termos de Referência

O documento que ora a VBA Consultores entrega à COGERH compreende todos os segmentos, dispostos nos seguintes tomos:

Tomo I – RELATÓRIO FINAL - TEXTOS

- Levantamento dos dados básicos
- Estudos de Viabilidade Técnica
- Estudos de Viabilidade Econômica e Financeira
- Projeto Básico - Textos
- Anexos

Tomo II – ESTUDOS AMBIENTAIS

Tomo III – DESENHOS E PLANTAS

Tomo IV – PROJETO ELÉTRICO

- Volume I – Projeto Elétrico da Usina

- Volume II – Projeto Elétrico da Subestação

Tomo V – ORÇAMENTOS

Tomo VI – CATÁLOGOS E FOLHAS DE DADOS

Tomo VII – ARTIGOS E INFORMAÇÕES TÉCNICAS

Tomo VIII – TERMOS DE REFERÊNCIA

Tomo IX – ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS

Na realidade, o Contrato determinava a elaboração dos estudos e do projeto para as vazões de 20, 40 e 60 l/s de água permeada. Tais parâmetros foram seguidos e os estudos e o projeto foram entregues em maio passado.

No entanto, como a SRH e a COGERH solicitaram novos estudos sobre outros tamanhos para a planta de dessalinização (10 e 5 L/s), não previstos nos termos de referência, a VBA continuou elaborando tais estudos. Ao final desses estudos, a SRH e a COGERH decidiram pelo tamanho de 5l/s de produção do permeado, determinando que a VBA seguisse na elaboração dos estudos e do projeto, obedecendo a este novo parâmetro.

O Tomo I constitui os textos relativos aos levantamentos básicos, aos estudos de viabilidade técnica, aos estudos de viabilidade econômica e financeira, aos textos do Projeto Básico. Apresenta também oito anexos.

No Tomo II estão os estudos ambientais, elaborados na forma de EVA – Estudos de Viabilidade Ambiental.

Os desenhos e plantas estão reunidos no Tomo III. São desenhos gerais e plantas detalhadas da Usina, configurando aspectos da captação e adução e reservação de água do mar, pré-tratamento da água salgada, sistema de osmose reversa e de recuperação de energia, pós-tratamento e reservação da água permeada. São também apresentadas desenhos das obras civis, das áreas externas de paisagismo e de estacionamento.



O Tomo IV constitui o projeto elétrico, dividido em dois volumes: Volume I, Projeto Elétrico da Unidade Industrial e Volume II, Projeto Elétrico da Subestação abaixadora de energia. O segundo projeto foi separado, pois deve ser encaminhado à COELCE para análise e aprovação.

Os orçamentos, que estão apresentados no Tomo V, foram elaborados com base na Tabela de Preços da Secretaria de Infra-estrutura – SEINFRA, em sua última versão disponível (junho de 2006). Quando materiais, equipamentos ou serviços não estavam contemplados na Tabela de Preços da SEINFRA, foram construídas composições, que estão anexadas às planilhas dos orçamentos.

São ainda apresentados no Tomo VI os Catálogos e Folhas de Dados sobre equipamentos que podem servir de referência e no Tomo VII Artigos e Informações Técnicas sobre os sistemas e processos de dessalinização. Tais informações podem ser úteis para um melhor conhecimento da evolução da dessalinização no Mundo e para a escolha de equipamentos da usina.

No Tomo VIII, apresentam-se os Termos de Referência para a licitação do fornecimento e montagem de todos os equipamentos, construções civis, posta em marcha e operação e treinamento de pessoal.

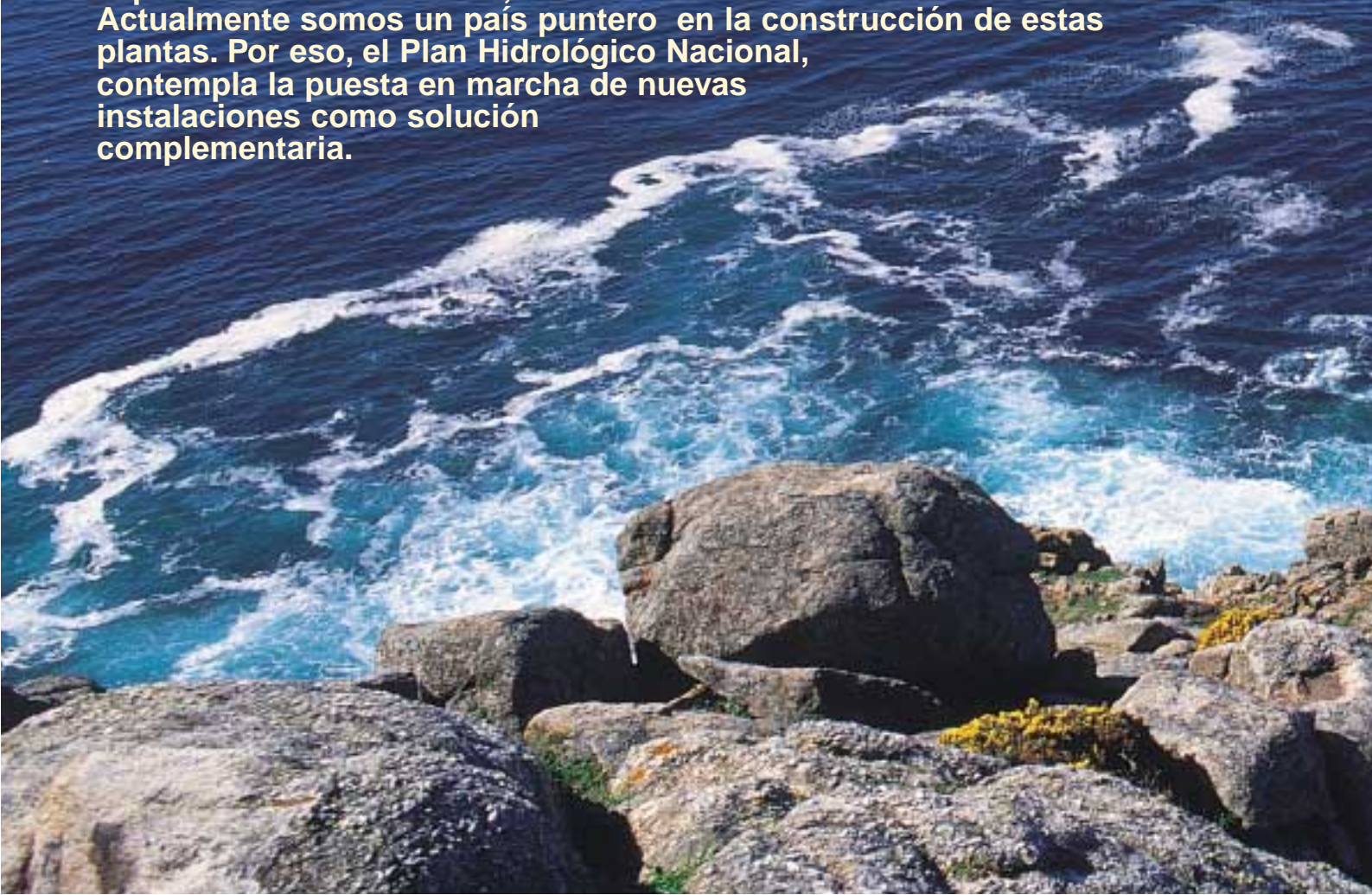
As especificações técnicas estão reunidas no Tomo IX.

ARTIGOS E INFORMAÇÕES

La población total abastecida con agua desalada en España es de 2,3 millones de personas

Agua dulce, agua salada

La escasez de agua en España ha sido un problema histórico. Esta escasez cobró mayor importancia, sobre todo en determinadas zonas del litoral español, en la década de 1960, cuando comenzó la explosión de diversas actividades económicas, especialmente con el desarrollo de los cultivos de regadío y el turismo. Desde 1964 hasta ahora se han instalado en España, especialmente en las islas, todos los sistemas de desalación conocidos. Actualmente somos un país puntero en la construcción de estas plantas. Por eso, el Plan Hidrológico Nacional, contempla la puesta en marcha de nuevas instalaciones como solución complementaria.



Texto: *Luís Guijarro*

L

a disponibilidad de agua de suficiente calidad es un factor de gran importancia que condiciona el desarrollo de cualquier región, ya que resulta imprescindible tanto para el desarrollo demográfico como para el industrial y el agrícola.

Como explica Miguel Torres Corral, Jefe de Área de Calidad de las Aguas del Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX), "el agua en estado puro es muy difícil de encontrar en la tierra. Lo que denominamos agua habitualmente es en realidad una disolución de diversas sales en agua. La concentración de sales mayor o menor es la que dará origen a que denominemos a la disolución de forma distinta: agua dulce, agua salobre, agua salada, salmuera, etcétera".

Ante la escasez del preciado líquido, muchos investigadores a lo largo de la Historia contemplaron la posibilidad de obtener agua para el consumo humano a través del agua de mar. La desalación consiste en quitar las

sales que existen en el agua, con el fin de obtener agua de una menor salinidad y, por tanto, mayor calidad. Es una técnica interesante para todas aquellas zonas donde se dan, simultáneamente, una escasez de agua de calidad y abundancia de agua de mar y/o salobre. Aunque los orígenes de la desalación se remontan al siglo V antes de Jesucristo, no ha sido hasta las últimas décadas cuando esta tecnología ha experimentado un notable desarrollo.

FILÓSOFOS Y ALQUIMISTAS

Ya muchos filósofos griegos de la antigüedad (Tales de Mileto, Aristóteles, etc.) hablaban en algunos de sus escritos sobre la posibilidad de convertir el agua del mar en agua dulce, llegando incluso a describir dispositivos para destilar agua, pero sólo desde un punto de vista teórico. Los escritos y tratados en los que se habla de la destilación del agua del mar desde un punto de vista práctico, son un poco posteriores. "Existen escritos que datan del siglo III después de Jesucristo y que describen aparatos para destilar agua mediante la condensación del vapor, son los llamados *atambiques*. Posteriormente,

■ La desalación es una técnica interesante para aquellas zonas donde existe escasez de agua de calidad y abundancia de agua de mar.
Foto: Vicente González.



■ Actualmente, España es un país puntero en la construcción de plantas desaladoras. Vista general de la planta desaladora Las Palmas-Telde.

durante la Edad Media, muchos alquimistas árabes y persas practicaban la desalación del agua de mar”, comenta Eduardo Zarza, del Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT).

En los albores del Renacimiento, algunos alquimistas árabes desalaban el agua del mar haciendo uso de la energía solar; para ello utilizaban vasijas de vidrio dentro de las cuales ponían el agua de mar, calentándola mediante espejos que reflejaban la radiación solar sobre las vasijas, aportando de este modo el calor necesario para la evaporación del agua.

“Pero fue en 1675 —comenta Zarza— cuando se registró la primera patente sobre desalación. En 1872, el ingeniero sueco Carlos Wilson construyó la primera planta desaladora de tamaño industrial. Se trataba de un Solar Still de 4.757 m², con una producción diaria de 22.5 m³/día. Esta planta fue construida en Chile. En los

comienzos del siglo XX se construyeron algunas pequeñas plantas desaladoras portátiles, especialmente diseñadas para ser utilizadas en la guerra y asegurar el abastecimiento de agua a los soldados”.

ÓSMOSIS INVERSA

Los distintos procesos de desalación existentes se pueden agrupar en dos grandes tipos: procesos que separan el agua de la disolución y procesos que separan los iones salinos. Dentro de los procesos que separan el agua destaca la destilación, con ocho procesos. Todos ellos se basan en la separación del agua mediante evaporación y la condensación posterior de dicho vapor. A éste le seguiría el proceso de cristalización, que consiste en separar los cristales de hielo, teóricamente de agua pura, que se forman cuando se rebasa el punto de congelación de las soluciones salinas. Por fusión posterior de los cristales se obtiene agua dulce.

La ósmosis inversa es el proceso que separa el agua de la disolución salina mediante filtración realizada a través de membranas semipermeables. Estas membranas tienen un comportamiento distinto frente al transporte a través de las moléculas de agua y de los iones de la disolución.

Dentro de los procesos que separan los iones salinos se encuentra la electrodiálisis, que también utiliza membranas semipermeables y selectivas al paso de los iones positivos o negativos. Sólo se emplea para aguas salobres y su aplicación en aguas marinas concentradas está en experimentación. El intercambio iónico también es otro proceso que separa sales y se basa en las propiedades que presentan ciertas sustancias sólidas insolubles que son capaces de intercambiar aniones o cationes cuando se ponen en contacto con un electrolito. Sólo es de aplicación en aguas poco concentradas y como tratamiento de afino en procesos industriales.

La ósmosis inversa ha ido desplazando gradualmente a los otros procesos. Según Miguel Torres “hoy día es el de mayor aplicación para agua de mar en Europa y en general en el mundo occidental, por su menor consumo energético, lo que contribuye a rebajar el coste del agua desalada”.

El desplazamiento de los sistemas de destilación por la ósmosis inversa es debido al fuerte desarrollo tecnológico de esta última. En pocos años los gastos de inversión de una planta de ósmosis inversa han bajado casi exponencialmente, por no hablar del consumo energético, el más importante sobre el precio final del agua desalada.

CRISIS DEL PETRÓLEO

Las primeras instalaciones desaladoras se construyen al principio de la década de 1950. Los precios de los combustibles fósiles marcan la tendencia en el desarrollo de las primeras plantas desaladoras, todas ellas de evaporación. Son instalaciones de gran consumo de energía, aunque baratas de primera instalación. El incremento de la capacidad instalada hasta 1970 es muy bajo, siendo el total instalado al final de este año 1.700.000 m³/día.

“Tras la crisis del petróleo del año 1973, se produce un fenómeno muy interesante. El incremento del precio de los combustibles provoca por una parte una mejora de la economía de los países de la OPEP que les permite hacer grandes inversiones en construcción de desaladoras, y por otra, obliga a optimizar el diseño de los evaporadores para obtener mejores rendimientos y abaratar el agua. Se busca el mínimo coste que será el mínimo de la suma de inversión más explotación”, comenta Miguel Torres.

La disponibilidad de recursos hídricos, procedentes de la desalación del agua de mar, tanto para abastecimiento como para la industria e incluso alguna agricultura, cambió de forma apreciable la faz de estos países.

Los avances del diseño permiten contrarrestar la subida del precio de los combustibles, al rebajar el consumo específico, haciendo que pueda ex-

tenderse la desalación a otras zonas carentes de recursos energéticos. Tal es el caso de España, Italia y otros.

Este proceso de avance de la capacidad instalada sigue hasta mediados de los años ochenta. Es el momento en que se produce otra nueva crisis del petróleo. “Los países más industrializados abren un camino de diversificación de fuentes energéticas (gas, carbón, nuclear) a la vez que se sigue avanzando en la rebaja de los consumos de energía. Esto redundará en la menor demanda de crudo, que repercute en la disminución de las inversiones en desalación durante los años 86 a 88. La crisis de estos años obligó a los países de la OPEP a establecer cuotas de producción como única forma de evitar una caída incontrolada del precio del crudo”, comenta Miguel Torres.

Desde estas fechas hasta hoy la contratación ha seguido una tasa de crecimiento estable aunque más moderado, alcanzándose en la actualidad la cifra de 27 Hm³/día como capacidad total instalada. La capacidad total en producción es algo inferior, alcanzando la cifra de 24 Hm³/día.

GEOGRAFÍA DE LA DESALACIÓN

Según explica Miguel Torres, “en sus inicios la actividad desaladora esta lo-

**La desalación
consiste en quitar
las sales que
existen en el agua
para obtener agua
de una menor
salinidad y, por
tanto, mayor
calidad**

■ En las islas de Lanzarote y Fuerteventura la desalación de agua de mar permite el abastecimiento del 100 por ciento de la población residente y turística.





■ Vista interior del edificio de proceso de la desaladora de Marbella.

La ósmosis inversa es el proceso de desalación de mayor aplicación para agua de mar en Europa por su menor consumo energético

calizada en Europa y América del Norte. En la década de 1980, los Países Árabes y los japoneses dominaron el mercado, mientras que, en la actualidad, Europa ha retomado su posición aunque sin llegar a la actividad de los Países Árabes, tanto del Mediterráneo como del Oriente Medio”.

Por países, Arabia Saudita ocupa el primer lugar con un 24,4 por ciento de la capacidad mundial instalada. España, ocupa el noveno lugar detrás de los Países Árabes, Estados Unidos, Japón y la antigua Unión Soviética con un 2,4 por ciento de la capacidad mundial.

En cuanto al número de unidades instaladas, el primer lugar lo ocupa Estados Unidos seguido de Arabia Saudita, lo cual significa que, el tamaño medio de las unidades instaladas en Estados Unidos es pequeño. España ocupa el quinto lugar en cuanto unidades, lo que significa también que nuestras plantas son de tamaño pequeño en general. No obstante, las últimas in-

versiones han sido en plantas de gran tamaño, como se ha podido ver en la planta desaladora de Carboneras (Almería), la más grande de Europa.

Para hablar de la desalación en España antes hay que hacer un repaso por las particularidades hídricas de nuestro país. España presenta una acusada variabilidad hidrológica. Muchos problemas derivados de la escasez de recursos hídricos tienen su origen en la distribución irregular de las precipitaciones, tanto en el espacio como en el tiempo.

Según datos de la Asociación Española de Abastecimiento y Saneamiento: actualmente, las necesidades totales de agua para abastecimiento urbano se evalúan en 4.500 Hm³/año, lo que supone cerca del 15 por ciento de los usos consuntivos. Esto representa una dotación de 328 litros/hab.día en municipios entre 20.000 y 50.000 habitantes y de 295 litros/hab.día en grandes áreas metropolitanas.

Por si fuera poco, la mayor población turística se localiza en el litoral mediterráneo y en los archipiélagos, donde son menores los recursos hídricos, y además coincide su estancia con el período de menores precipitaciones.

Actualmente, la producción total actual de agua desalada llega a 220 Hm³/año de los cuales 94 Hm³/año corresponden a agua salobre y 126 Hm³/año a agua de mar. "Con estas cifras —comenta el Jefe de Área del Cedex— el agua desalada representa en España el 0,4% del uso consuntivo y el 3,3% del consumo urbano. La población total abastecida con agua desalada es de 2,3 millones de personas".

MANOS A LA OBRA

¿Cómo se contempla la desalación dentro del Plan Hidrológico Nacional? Según Miguel Torres, "en el PHN se ha descartado la desalación de agua de mar como solución global por consideraciones económicas. Sí se hace como solución complementaria y transitoria al trasvase, hasta que éste pueda estar operativo".

Dentro del PHN se van a ampliar numerosas desaladoras existentes y en funcionamiento; se van a mejorar otras y a construir nuevas especialmente en la Cuenca del Segura, del Sur, Melilla y en las Islas Baleares y Canarias.

El caso de las Islas Canarias es importante de destacar porque, por ejemplo, en las islas de Lanzarote y Fuerteventura la desalación de agua de mar permite el abastecimiento del 100 por ciento de la población autóctona y turística y en Gran Canaria representa el 80 por ciento. Lanzarote y Fuerteventura puede decirse que no tienen otros recursos hídricos disponibles que los obtenidos mediante desalación del agua de mar. En este recurso no convencional se ha basado el importante desarrollo turístico alcanzado en los últimos veinte años.

En Gran Canaria los recursos hídricos superficiales que recogen los embalses suponen 12 Hm³/año como cifra media. El agua desalada de origen marino alcanza en la isla la cifra de 36 Hm³/año, por tanto 3 veces superior a los recursos superficiales.

PROCESOS ACTUALES DE DESALACIÓN

A) Procesos que separan agua

a) Destilación:

- Destilación solar.
- Destilación súbita de simple etapa.
- Destilación en tubos sumergidos.
- Destilación súbita multietapa.
- Destilación multiefecto por tubos horizontales.
- Destilación multiefecto por tubos verticales.
- Comprensión mecánica de vapor
- Termocompresión de vapor

b) Cristalización:

- Congelación
- Formación de hidratos

c) Filtración

- Osmosis inversa

B) Procesos que separan sales

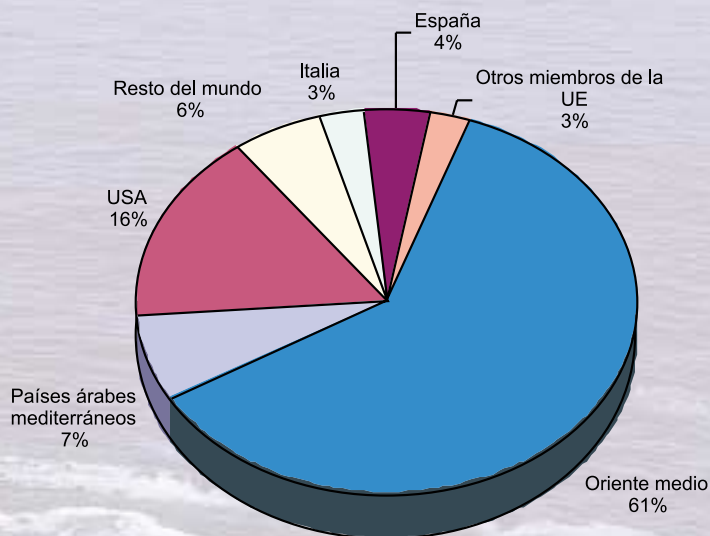
a) Filtración selectiva:

- Electrodialisis

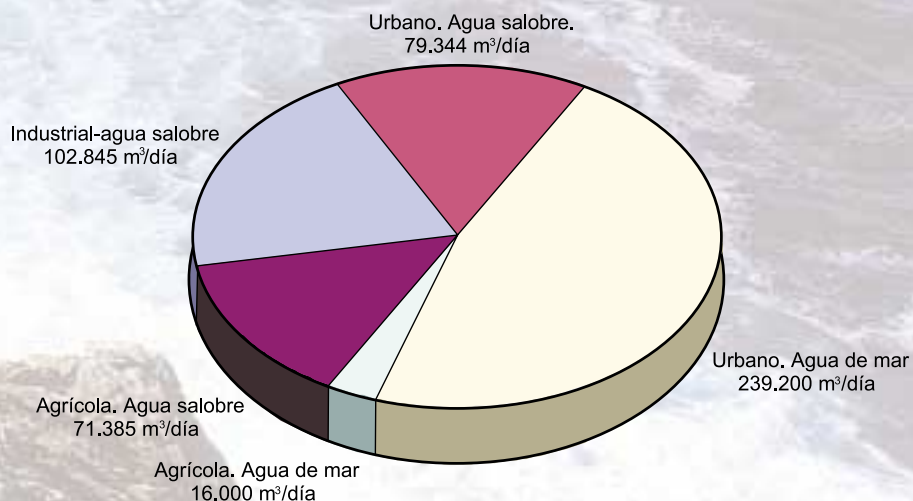
b) Intercambio:

- Cambio iónico. Adsorción.

Fuente: La desalación de agua de mar ¿Recurso hídrico alternativo? de Miguel Torres Corral
 Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX)



■ La desalación en el mundo.



■ Usos del agua desalada.



■ El principal uso del agua desalada es el abastecimiento urbano y una parte pequeña y excepcional para uso agrícola. Planta desaladora Las Palmas-Telde.

El principal uso del agua desalada es el abastecimiento urbano y una parte pequeña y excepcional para uso agrícola. La desalación de agua salobre para uso agrícola, industrial y urbano alcanzan proporciones parecidas entre ellos.

Desde el año pasado, ya se ha comenzado la construcción de algunas de estas instalaciones. Así, el ministro de Medio Ambiente, Jaume Matas, puso el pasado mes de marzo de 2001 la primera piedra de la desaladora de Carboneras, en Almería. Esta será la más grande de Europa, con un presupuesto de 87.801.205 euros (14.775 millones de pesetas) y permitirá garantizar el abastecimiento de agua potable a 13.777 habitantes. Tendrá capacidad para desalar 120.000 metros cúbicos al día, siendo posible su ampliación en futuras fases hasta 240.000 metros cúbicos al día. Al construir esta desaladora se superarán las carencias actuales y se dará satisfacción a las demandas de agua de la zona del Campo de Níjar.

Por otro lado, se asegurará el riego de 4.918 hectáreas localizadas en dichos

términos municipales y que representan para algunos de ellos la principal fuente de actividad e ingresos económicos de la población.

Con ello se mejorará la calidad de vida de los habitantes de estas comarcas de Campos de Tabernas y Bajo Almanzora, se frenará la emigración, invirtiendo la tendencia actual al despoblamiento y al abandono que viene afectando a esta zona desde principios del siglo XX, y se promoverá la mejora de la actividad agrícola al garantizar los regadíos, lo que supondría un aumento del nivel de renta y un incremento de la oferta de empleo.

En septiembre del año pasado también se adjudicaron las obras de ampliación de la desaladora de Formentera (Baleares). Con esta actuación se pasará a disponer de 4.000 metros cúbicos de agua diarios, que abastecerán a 20.000 personas dentro de un año. Las obras forman parte de las contempladas en el Plan Hidrológico Nacional en esta comunidad, donde se invertirán 122.801.204 euros (20.385 millones

de pesetas) para mejorar abastecimientos de agua a la población.

Un mes después el ministro de Medio Ambiente, Jaume Matas, inauguró la desaladora de agua marina de Santa Cruz de Tenerife, lo que supone un avance para el abastecimiento de la isla. Esta instalación está destinada a incrementar los recursos hídricos disponibles para el abastecimiento de la ciudad y su área de influencia y ha supuesto una inversión de 20,54 millones de euros (3.418 millones de pesetas). "La gran calidad del agua obtenida en esta desaladora, al mezclarse con la actual, introduce además una mejora significativa en el agua distribuida en la ciudad, con la consiguiente mejora de calidad de vida de los ciudadanos y los visitantes de la isla, comentan desde el MIMAM.

Esta desaladora fue diseñada para aportar una producción de 20.000 metros cúbicos diarios, lo que da un aporte anual de 7 millones de metros cúbicos que asegurarán el suministro de agua a cerca de 80.000 personas, lo que re-

presenta una tercera parte de la población total de la ciudad de Santa Cruz.

Una mención especial merece también la Planta de El Atabal, en Málaga, cuya primera piedra fue puesta por el secretario de Estado de Aguas y Costas, en febrero de 2002. En este caso se trata de una planta desalobradoradora, utilizará agua salobre, y se trata de la planta más importante del mundo, cuya producción de 165.000 m³ diarios supera el consumo de toda la ciudad. Según explican desde el Ministerio, "se dará servicio a una población de 800.000 habitantes, ya que el agua conseguida mediante el proceso de desalación empleado alcanzará tal pureza que podrá ser consumida incluso por aquellas personas que sigan una dieta baja en sodio. A ello hay que añadir el ahorro económico que supone poder disfrutar del agua del grifo, ya que, gracias a la desalobradoradora, se va a obtener una alta calidad, lo que permitirá prescindir del gasto del agua embotellada.

ENERGÍAS RENOVABLES

"Inevitablemente este proceso tiene sus costes medioambientales", comenta Miguel Torres. No debe negarse el impacto ambiental asociado a las plantas desaladoras: los más importantes son el vertido de salmueras y la generación de CO₂ provocada por el consumo energético.

Según Eduarzo Zarza, "existen diversos factores que hacen de la desalación de agua del mar una aplicación atractiva para las energías renovables. Por un lado, está el hecho de que muchas zonas con escasez de agua desalada, poseen un buen potencial de alguna de dichas energías, especialmente de la eólica o de la solar. Almería es un claro ejemplo de este tipo de zonas".

De igual modo, estudios efectuados en el Departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, señalan el altísimo potencial de las energías renovables para la desalación de aguas, y más en concreto, la energía eólica.

Según Roque Calero y Alejandro Menéndez, del Instituto Tecnológico de Canarias (ITC), "el 20 por ciento de toda la energía producida en Cana-



■ Filtros de arena y reactivos de pretratamiento de la desaladora Bahía de Palma.

rias se destina a desalación, bombes y extracciones. La total dependencia exterior de las fuentes de los recursos energéticos convencionales, junto con el enorme potencial de fuentes de energía renovables existentes en el archipiélago, además de todas las repercusiones medioambientales, hacen previsible una penetración de los sistemas de energías renovables en un futuro no muy lejano".

Lo cierto es que ya no se está hablando de ciencia ficción, así, el ITC ha recibido el premio Hans E. Moppert que otorga la fundación suiza del mismo nombre, por un proyecto que permite la desalación del agua de mar mediante la energía eólica. Y, lo más importante de todo, que, como dice Miguel Torres, "el Ministerio está abierto a la utilización de energías renovables en las plantas desaladoras".

Mientras tanto, la bajada de los costes de agua obtenida por desalación, harán que en Almería, Melilla, Cartagena, Mallorca, Menorca, Las Palmas, Arrecife, Lanzarote y Santa Cruz de Tenerife, entre otros municipios, puedan mejorar los abastecimientos de agua tanto para el consumo propio como para, en determinadas circunstancias, el riego. Todo ello gracias a las inversiones contempladas dentro del Plan Hidrológico Nacional. ■

Canarias, en la vanguardia mundial de desalación



El desarrollo socioeconómico de Lanzarote ha sido posible gracias al agua desalada

De salado a dulce

*Por: Manuel Hernández Suárez
Ph.D., M.Sc., Dipl. Ing.
Director Gerente del Centro Canario del Agua*

Era una tarde de verano de 1981 cuando se presentó el informe. Estaban presentes todos los presidentes de las cooperativas agrícolas de Canarias vinculadas al plátano. Eran tiempos difíciles. En Gran Canaria se acababa el agua. Los pronósticos eran escalofriantes. En 10 años la producción agrícola se reduciría a la mitad. El técnico, entonces un hombre de unos 28 años, esbozaba lentamente en cada gráfico el escenario de penuria y desdicha que se avecinaba. Dos meses después de aquella reunión, el presidente de aquella comisión, que llevaba más de 15 años en el poder, presentaba su dimisión por motivos personales. El técnico, por su parte, abandonaba la isla en busca de un lugar con un futuro menos incierto.

La conexión entre las islas y los países avanzados en desalación comenzó a partir de entonces a ser muy fuerte. El perfeccionamiento de las instalaciones fomentó todo tipo de tecnologías. Los resultados se veían. Y así, Canarias pasaba a convertirse en uno de los principales centros de desarrollo de las tecnologías de desalación en el mundo.

Mientras tanto, para el resto de España las desaladoras no dejaban de ser unos inventos curiosos, que al parecer se usaban allá muy lejos, en las islas, pero que tenían poca aplicación fuera de ellas por ser muy caras.

Habían pasado 23 años y algunos de los presentes recordaba todavía aquella reunión de la comisión de plataneros. Ahora el motivo de la convocatoria era muy distinto: Darle difusión a la destacada posición de Canarias en temas de desalación y reutilización de aguas.

El escenario escogido iba a ser Lanzarote. Al fin y al cabo había sido el banco de pruebas de la desalación los últimos 37 años. No hubo discusión. También se decidió que la organización de la conferencia corriera a cargo del Centro Canario del Agua, institución aglutinadora de todo el sector público y privado de Canarias vinculado al agua y que centra sus actividades en la investigación, el desarrollo y la di-

vulgación.

Los asistentes fueron llegando poco a poco. directores generales, gerentes de grandes empresas, presidentes de asociaciones, técnicos, y miembros de distintas instituciones de la península y de islas, fueron tomando sitio dispuestos a escuchar lo que se prometía como un variado programa: “Últimos avances en desalación y reutilización de aguas: la sólida experiencia de Canarias”, era el título de las jornadas. En Canarias había otra vez agua. Estábamos de nuevo en época de prosperidad.

El primer día, durante las pruebas a primera hora de la mañana, uno de los amplificadores sufría un cortocircuito dejando la sala sin luces. Fue la única incidencia durante todas las jornadas. La imágenes claras, los textos legibles y las charlas cortas y precisas. Pasando de un tema a otro. Eran los primeros espaldas de las islas y se notaba.

La lista de ciudades de zonas áridas que tuvieron que ser abandonadas por el agotamiento de sus reservas hídricas es interminable en la historia de las civilizaciones, y son muy pocas las que volvieron a renacer. Las Palmas de Gran Canaria podría haber pasado a engrosar la lista pero no fue así. La ponencia de Javier Alday, director técnico de Emalsa, empresa de aguas de la ciudad, ponía cifras a la gran transformación vivida por la ciudad en las últimas décadas. “El consumo medido en litros por habitante y día ha pasado de 92 litros en 1983 a 169 litros en 2003”, y continuaba, “En el 2005, se distribuirán un total de 30 millones de metros cúbicos de agua y el 87% saldrá de las desaladoras”. Javier Alday, que ha vivido muy de cerca este cambio, finalizaba su exposición con una interesante reflexión: “En zonas donde hay importantes carencias de recursos hídricos, el precio no parece ser el factor decisivo en el consumo. El factor decisivo parece ser la oferta”.

No se podía estar hablando de las transformaciones sufridas en el archipiélago por la desalación sin oír a Lanzarote. Fernando Pérez, gerente de Inalsa, empresa de aguas de Lanzarote, hizo de portavoz. “En 1965, la isla tenía 12.000 habitan-

“Hace 23 años, los pronósticos eran escalofriantes: en Gran Canaria se acabada el agua y la producción agrícola tenía que reducirse a la mitad”



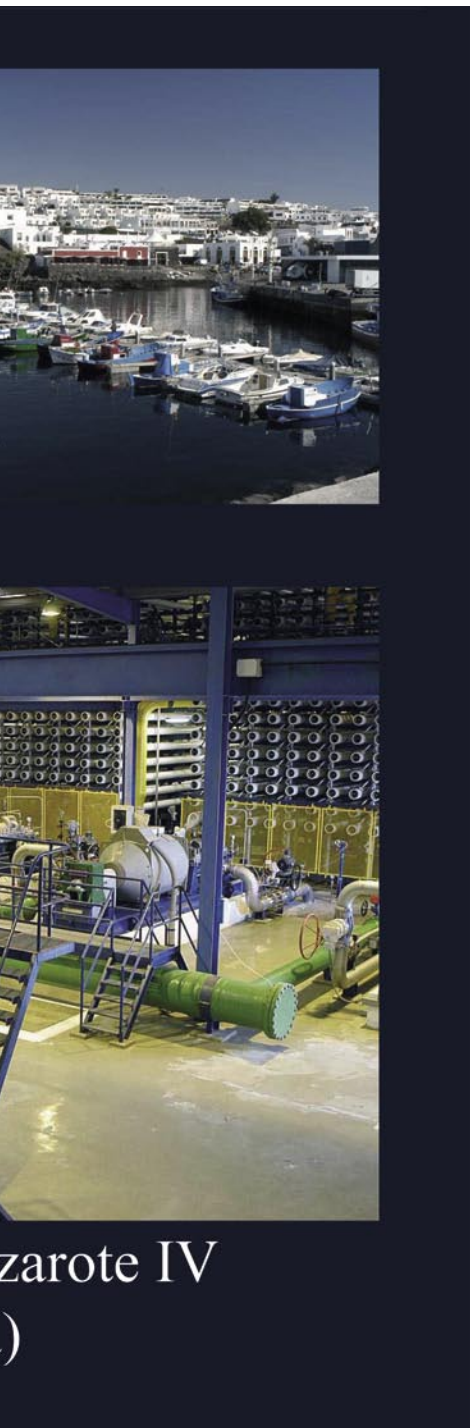
Lanzarote 2004
180.000 residentes
(aproximadamente)



Reutilización Tías Lanzarote
(microfiltración)



Desaladora Lanzarote
(ósmosis inversa)



Lanzarote IV

Canarias ha pasado a convertirse en uno de los principales centros de desarrollo de las tecnologías de desalación en el mundo

“En 1965

Lanzarote

tenía

12000

habitantes.

Hoy,

gracias

al agua

desalada

somos

más de

180.000”

tes” comenzó diciendo, mientras mostraba una foto de dos niñas llevando un cántaro de agua. “39 años después somos más de 180.000”, y mostraba la foto de uno de los grandes puertos deportivos de la isla y de diversas huertas con riego localizado. “Todo esto se ha conseguido, evidentemente, gracias al agua desalada”. Y añadía: “Nuestra producción de agua desalada ha pasado de 1,2 millones de metros cúbicos en 1975 a 19 millones en 2004”. A ninguno de los presentes se le escapaba el increíble progreso que aquel inmenso río de aguas dulces había traído a una pequeña isla desértica en medio del Atlántico como era Lanzarote.

La incorporación del agua desalada y reutilizada al entramado socioeconómico que rodea al agua en Canarias ofrece ciertas particularidades que conviene resaltar. En Canarias ha sido siempre tradición que el agua se compre o se venda al mejor postor. De ahí que cuando hay poca se especula con el precio. Aunque el agua sea mala, es la que hay. En este contexto, no eran de sorprender por tanto, las palabras de Antonio López, director gerente de Canaragua, empresa del grupo Aguas de Barcelona, “El agua desalada no significó un aumento de las tarifas ya que el precio del agua subterránea superaba, en su momento los 0.36 euros, un precio próximo al del agua desalada. Además, las aguas de pozos eran muy salobres, por lo que en estas condiciones no se nota realmente el cambio, más bien ha sido un gran alivio para todos, tanto para la empresa como para los consumidores”

Escolástico Aguiar, ingeniero de caminos y director de Balsas de Tenerife, Balten, empresa pública que administra entre otras infraestructuras 20 embalses, 7 desaladoras y 450 km de conducciones; relataba así su experiencia en relación con la introducción del agua depurada en el mercado de agua de riego. “Con la reutilización del agua depurada se consiguió frenar el alza de precios en el agua de riego en una zona tradicionalmente deficitaria como es el Sur de Tenerife”. Y continuaba diciendo: “Independientemente de



Cámara isobárica
conectada a planta de
ósmosis inversa

los avances en depuración, la desalación nos ha solventado dos graves problemas. Por un lado, nos ha permitido desalar el agua depurada y por otro, aprovechar para el abastecimiento y el riego las aguas fósiles del Teide, muy bicarbonatadas y con altos contenidos en flúor y sílice.

En desalación se entiende por consumo específico el consumo de energía por metro cúbico de agua desalada. Este era por tanto, un concepto clave que había que tratar: el consumo energético.

Todos los expertos presentes estuvieron de acuerdo en que las cámaras isobáricas habían sido la gran revelación tecnológica de los últimos años y también la gran esperanza de la desalación. Varios ponentes desarrollaron el tema, entre ellos: Luis González, director gerente de Tecnovalia, Roberto León, director técnico de Tecnología Canaria del Agua y José-Lorenzo Pérez, director gerente en España de membranas Toray. Éste último, que resumió de forma magistral el estado del arte de la desalación, explicaba: “Se trata de un componente que es ya fundamental en plantas pequeñas y medianas, y en las que en combinación con bombas de pistón se consiguen consumos específicos impensables hasta hace pocos años. Dependiendo

del caso, los consumos específicos están en 2-2,4 kWh/m³. A esto habría que añadir alrededor de 1 kWh/m³ de los bombeos antes y después de la planta”. A título comparativo se podría añadir que los consumos específicos medios de los procesos de desalación por ósmosis inversa en Canarias están todavía entre 3,2 y 4,8 kWh /m³, dependiendo el estado y fecha de construcción de las instalaciones.

José-Lorenzo Pérez puntualiza también: “Todavía existen algunos problemas para la aplicación de estos equipos desde el punto de vista de su disponibilidad. Aunque existen soluciones, la seguridad en el suministro de agua puede llegar a verse afectada en una gran planta debido a este aspecto, a no ser que se module adecuadamente”.

Quedó claro también que aunque de gran fiabilidad, estos equipos están en un continuo rediseño para mejorar su calidad y aumentar su capacidad. En este sentido, la selección de nuevos materiales está permitiendo hacer grandes progresos.

En el manejo de estos equipos también se ha ganado experiencia. Así por ejemplo, en el caso de cámaras isobáricas tipo “rotatorias” un detalle: conviene cuidar bien el cebado de aire y la eliminación de

suciedades, para evitar problemas de “gripado”.

Se habló por lo demás, de tomas de agua de mar; pretratamientos; postratamientos con lechos de calcita; desarrollos en la filtración de aguas depuradas: los conocidos reactores de membranas; la desalación del agua depurada y las posibilidades de las energías renovables. Todo ello, en base a experiencias concretas existentes en Canarias.

Paralelamente a las jornadas, y alrededor de las mesas del café se exponía una amplia colección de fotos de las instalaciones más importantes del archipiélago. También se pudieron visitar diversas desaladoras y depuradoras de la isla.

En resumen, la sociedad canaria ha vivido en las últimas décadas un notorio despertar, gracias a que el poder político y económico ha sabido promover la tecnología sobre la cual descansa su prosperidad y que es la desalación. Ahora bien, la realidad socioeconómica de las islas está cambiando a una escala temporal de meses, y no de años como ocurría antes. Por tanto, la respuesta a este vertiginoso cambio histórico tendrá que ser un esfuerzo inversor todavía mayor y, sobre todo, una intensa labor de investigación.

Nota: Las ponencias de las Jornadas “Avances en desalación y reutilización de aguas, La sólida experiencia de Canaria”, celebradas en Playa Blanca, Lanzarote, los días 8-9 de diciembre 2004, están disponibles en CD (www.fcca.es).

Lanzarote 1965: 12.000 habitantes

La producción de agua salada en Lanzarote ha pasado de 1,2 millones de metros cúbicos en 1975 a 19 millones en 2004



Dos niñas de Lanzarote acarreado agua en 1965

Barreto, J.M.



Lanzarote fue el banco de pruebas de las técnicas de desalación desde hace casi cuarenta años

Enarenados (Díaz, F.)

*Desaladora Almería*

AVANCES TÉCNICOS EN LA DESALACIÓN DE AGUAS

Miguel Torres Corral
Centro de Estudios Hidrográficos (CEDEX)

Una de las principales objeciones que se presentaban, años atrás, contra la desalación, era el elevado coste para la obtención del recurso. Sin embargo, en unos pocos años el coste del agua desalada ha descendido notablemente debido principalmente a dos causas: La aprobación de la Directiva Marco sobre Política del Agua y su transposición a la legislación española y la bajada notable del coste del agua desalada por la incorporación de los últimos avances técnicos en ósmosis inversa. Pero, para comprender bien la situación técnica en la que nos encontramos es necesario conocer, aunque sea someramente, lo que ha sido la evolución histórica de la desalación en España y en el mundo en los últimos cuarenta años.

La Ósmosis Inversa ha desplazado completamente en España a los procesos de Evaporación por su menor coste de inversión y explotación

Desaladora Arucas Moya



La evolución técnica que se ha producido en la desalación de agua de mar desde 1965 hasta hoy se encuentra perfectamente representada en España.

Desde estos comienzos hasta 1980 la escena de la desalación está dominada por los procesos de destilación. Siempre que las circunstancias del mercado eléctrico lo permiten, las plantas que se construyen son duales, productoras de agua y energía eléctrica, que se exporta a la red eléctrica. A este modelo responden las desaladoras de Fuerteventura, Ceuta, Las Palmas I, Lanzarote I y Las Palmas II.

Esta forma de producción conjunta permite rebajar el coste de agua desalada. La producción conjunta de agua y energía eléctrica conlleva un ahorro energético frente a la producción de ambas por separado. Si las ventajas de este ahorro se aplican por entero al agua desalada, sin perjudicar en nada la producción eléctrica, se disminuye el coste del agua desalada de forma muy apreciable, ya que la imputación energética al agua desalada se hace sobre el consumo marginal entre la producción sólo de energía eléctrica y la producción de ésta más el agua.

Dentro de los procesos de destilación hay diversos sistemas,

basados en el mismo principio físico de separación del agua y las sales disueltas mediante la evaporación y la posterior condensación del vapor. La forma de recuperar el calor de condensación del vapor es lo que diferencia unos sistemas de otros, dando origen a los sistemas MSF (evaporación multietapa), MED (evaporación multiefecto), CV (comprensión de vapor) como las más importantes.

Siendo el insumo principal en una desaladora el combustible, es lógico que las diversas crisis del petróleo hayan repercutido de forma notable en la tecnología aplicada. El coste final del agua desalada será suma de inversión más operación. La conjugación óptima de este binomio para obtener el mínimo coste, hay que realizarla en cada caso, atendiendo el precio de los materiales base en la construcción de las desaladoras, fundamentalmente el cobre y el níquel.

Hasta el año 1973, con precios bajos del petróleo el diseño en general respondía a instalaciones más baratas de construcción y de mayor consumo energético. Son instalaciones de bajo rendimiento debido a la menor superficie de transferencia de vapor de los evaporadores, y que por tanto requerían menos gasto de cobre y

níquel, materiales con los que se construyen los haces tubulares sobre los que se condensa el vapor que da origen al agua desalada. El parámetro que resume las características y el rendimiento del evaporador es la relación de producción, como cociente entre la cantidad de agua producida y el vapor de proceso consumido. Esta relación de producción, hasta el año 1973 se fijaba entre 5 y 7, como el óptimo para diseñar los evaporadores que obtenían el agua más barata, siempre considerando los costes de inversión más operación. A este diseño responden las desaladoras primeras de Ceuta, Fuerteventura y Las Palmas I.

La subida importante de los precios del petróleo de 1973, marca una evolución tecnológica, dentro del mismo proceso de destilación. El diseño de evaporadores de mayor rendimiento obliga a modificaciones técnicas que permiten elevar la temperatura de operación a la vez que se aumenta la superficie de transferencia, dando origen a evaporadores más caros pero de menor consumo energético. Se llega a alcanzar una relación de producción entre 10 y 11, y puede decirse que hacia 1980, los procesos de destilación alcanzan su techo tecnológico. Con este criterio se construyen las plantas de Lanzarote



Desaladora de Cartagena

La vinculación de la desalación al desarrollo de energías renovables es un reto de sumo interés, no tanto por el ahorro de coste del agua, sino por la incorporación del concepto de sostenibilidad a los proyectos de desarrollo basados en la desalación

I y Las Palmas II. Otras pequeñas instalaciones privadas en Lanzarote y Almería responden al mismo criterio.

LOS PROCESOS DE FILTRACIÓN: ÓSMOSIS INVERSA Y ELECTRODIÁLISIS

Si desde 1859, cuando Edwin Drake perforó el primer pozo de petróleo con producción industrial, la civilización sufrió un cambio importantísimo, desde la primera crisis del petróleo en 1973 hasta hoy, las sucesivas crisis han tenido una repercusión notable en la tecnología y desarrollo de la desalación. Por una parte se mejoró la tecnología dentro del único proceso MSF disponible y por otra, los países productores ven de repente muy saneadas sus economías y se convierten a su vez en grandes demandantes de instalaciones desaladoras, produciéndose un incremento notable de la capacidad instalada.

En el año 1979 se produce una nueva crisis y la respuesta de la industria de la desalación se orienta, como en las crisis anteriores, buscando la disminución del consumo específico. Pero en este caso, ya no caben mejoras apreciables en los procesos de evaporación y es cuando se produce

un cambio de proceso hacia la ósmosis Inversa.

La aplicación de las membranas semipermeables para separar el agua y las sales en una disolución venía aplicándose desde hacia varios años, pero sólo aplicado en agua salobre, con concentraciones de 6 o 7 gramos de sal por litro (7.000 ppm). La aplicación al agua de mar (35.000 ppm) presentaba dificultades que requerían inversiones importantes para desarrollar la membrana que presentara un rechazo de sales superior al 99%, con resistencia mecánica capaz de resistir hasta 70 Kg/cm², requeridos para vencer la presión osmótica y con una productividad adecuada. Sin duda la crisis de 1980 y otras posteriores sirvieron para desarrollar plenamente la industria de las membranas hasta extender su empleo de forma masiva.

La electrodiálisis también utiliza membranas semipermeables y selectivas al paso de los iones positivos o negativos. En lugar de separar el agua de la disolución, reteniendo los iones salinos como ocurre en la ósmosis inversa, en la electrodiálisis se crea un campo eléctrico al que se somete el agua salada, provocando que los cationes y los aniones emigren hacia sus respectivos electrodos. Si en el camino encuentran estas membranas

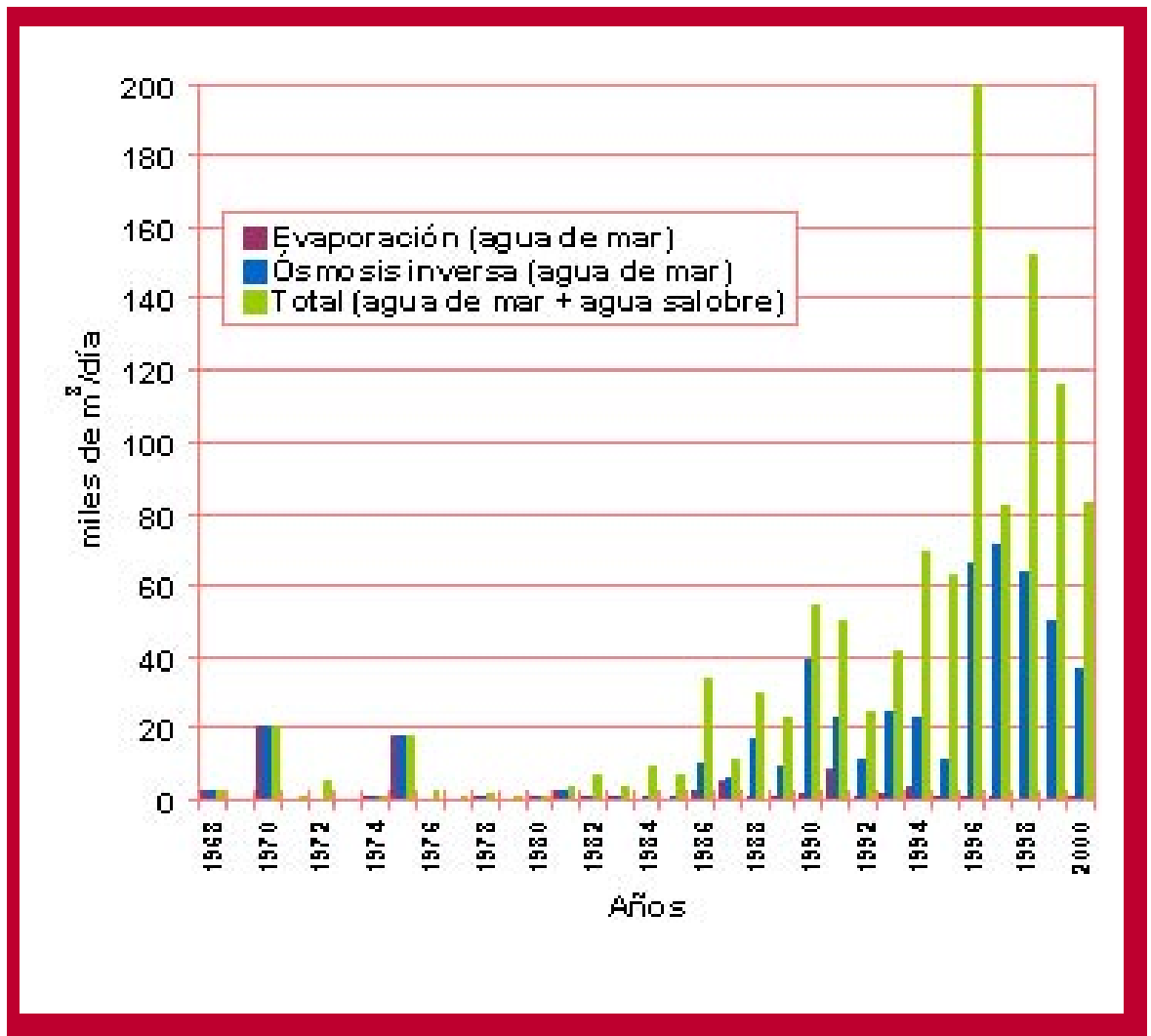
selectivas, los iones pasarán o quedarán retenidos, dejando zonas intermedias y alternativas entre las membranas donde se concentra el agua (rechazo) y donde se obtiene el agua dulce.

La electrodiálisis, compite con la ósmosis inversa en la desalación de agua salobre, sobre todo si ésta tiene alto contenido en sílice que impide obtener rendimientos adecuados con la ósmosis. Sin embargo, la electrodiálisis, hoy por hoy no se puede utilizar en agua de mar.

España es de los primeros países que apuestan desde el principio por el cambio hacia la Ósmosis Inversa, instalando la primera planta en 1982. Desde entonces todas las instalaciones de desalación, salvo la remodelación de Las Palmas I, aplican la Ósmosis Inversa. El consumo específico experimenta un descenso desde más de 20 kWh/m³ a menos de 4 kWh/m³ obtenido en la actualidad, con la repercusión importantísima en el coste del agua desalada.

La aplicación de la Ósmosis Inversa, con la consiguiente rebaja del coste tanto de inversión como de operación, produce dos efectos de forma muy rápida: Sustitución de las antiguas desaladoras de evaporación por obsolescencia técnica. Y la extensión del uso del agua desalada.

Capacidad instalada por sistemas



Las primeras instalaciones desaladoras de evaporación en Canarias y Ceuta, han sido desguazadas, sustituidas y ampliadas por instalaciones de Ósmosis Inversa. Antes de ser sustituidas, se estudió la posibilidad de remodelación pero se descartó por antieconómico en todos los casos, salvo en el caso de la Desaladora de Las Palmas.

Esta operación de remodelación sólo estaba justificada en Las Palmas I por su tamaño y su diseño específico. En Lanzarote, Ceuta o Fuerteventura no se justificó. Sin embargo sí puede ser una experiencia válida en otros lugares como el Golfo Pérsico y Países Árabes donde siguen instalándose grandes desaladoras de evaporación,

por su menor preocupación por el consumo energético y por las mayores dificultades de la Ósmosis Inversa, debido entre otras razones a la mayor contaminación y temperatura del agua de mar, que hacen que hasta ahora se haya extendido en menor grado.

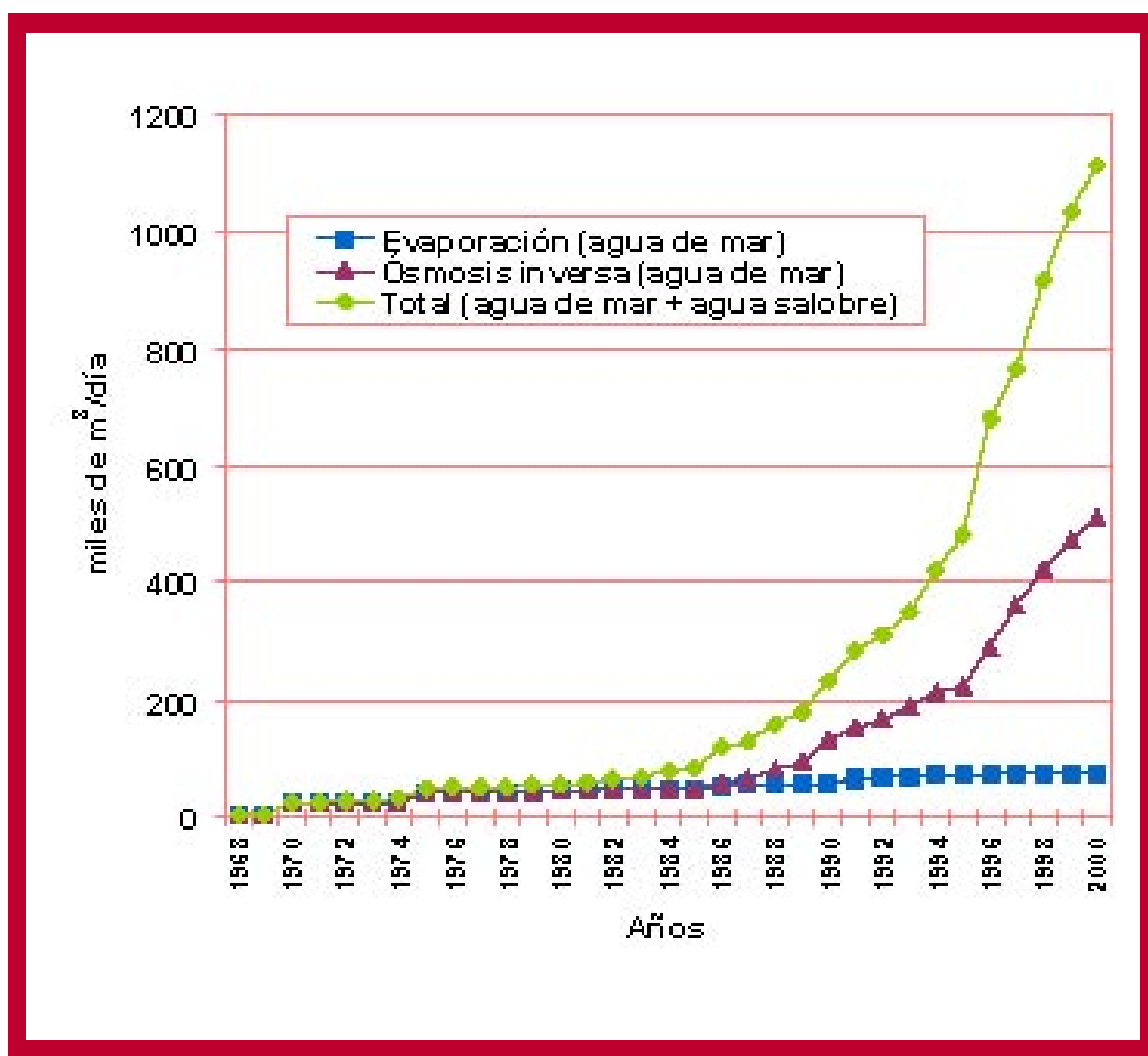
LAS GRANDES CIFRAS DE LA DESALACION

En la actualidad, la capacidad total instalada de desalación en el mundo alcanza la importante cifra de 32 millones de m³/día, sumada el agua de mar y el agua salobre. El crecimiento desde 1980 hasta hoy ha sido muy superior al experimentado con anterioridad, siendo especialmente importante el

incremento de producción en los últimos años.

La distribución geográfica de la desalación en el mundo responde a las siguientes cifras: Oriente Medio (60%), EE.UU (16%), Países Árabes Mediterráneos (6%), España (5%), Italia (2%), otros miembros de la Unión Europea (3%), resto del mundo (8%).

En España los incrementos de producción de agua desalada han seguido una evolución muy parecida a los del resto del mundo. Al final del año 2000 había unas 750 instalaciones desaladoras en funcionamiento, con una producción total de 1.2 millones de metros cúbicos al día, equivalentes a 390 Hm³/año. Esta diversidad de instalaciones agrupa a las



desaladoras de agua de mar y de agua salobre, tanto las pequeñas instalaciones menores de 1.000 m³/día como las de mayor producción. La cifra del agua desalada representa aproximadamente el 1.2% de la demanda consuntiva y coloca a España en el 5º lugar mundial en cuanto a capacidad total y en el 4º lugar si consideramos sólo la desalación de agua de mar. Una particularidad interesante del caso español es el reparto casi al 50% entre agua de mar y salobre, mientras que en otros países domina un tipo u otro.

El incremento tan importante experimentado en los últimos 10 años tiene que ver en España con dos circunstancias muy concretas: la sequía extraordinaria sufrida entre

1990 y 1995 y la bajada importante del coste de la desalación.

Si bien la bajada de costes ha repercutido en todo el mundo, la sequía fue una circunstancia específica española, que obligó a plantear, como solución de urgencia la instalación de una serie de desaladoras que paliaran, al menos en parte, el déficit de agua para abastecimiento urbano. La terminación feliz de la sequía hizo que no se tuvieran que construir las desaladoras que, con carácter coyuntural, se proyectaron para Sevilla, Cádiz y Málaga, manteniéndose las que presentaban un déficit estructural, caso de Almería, Ceuta, Cartagena, Alicante y Baleares.

AVANCES TÉCNICOS EN DESALACIÓN.

En la actualidad, para la aplicación en España, sólo cabe hablar de Ósmosis Inversa ya que los procesos de evaporación permanecen anclados en el techo tecnológico alcanzado y por tanto sin aplicación hoy por su mayor costo, tanto de instalación como de operación.

En la instalación de Ósmosis Inversa siempre hay cuatro áreas bien definidas y diferenciadas en las que se van a analizar los avances técnicos previsibles a corto plazo. Estas áreas son las siguientes: Toma de agua de mar y pretratamiento; Sistema de alta presión y recuperación de energía; Sistema de Ósmosis Inversa y postratamiento



Desaladora Tenerife

La reducción del coste del agua desalada seguirá produciéndose, ligada a las bajadas del consumo energético y a otras medidas, ligadas a la aplicación de tarifas eléctricas adecuadas y a otras consideraciones ligadas a la calidad exigible de agua desalada

de agua desalada.

Toma de agua de mar y pretratamiento

Disponer de una toma de agua de mar es siempre el objetivo primero a la hora de diseñar una desaladora. La posibilidad de obtener el agua por medio de pozos playeros para lograr una filtración natural en el terreno hay que estudiarla siempre en primer lugar. Una buena toma de agua permite aligerar el pretratamiento de forma apreciable. Una sencilla filtración sobre arena, una filtración de seguridad con cartuchos y la adición de pequeñas dosis de antiincrustante puede ser suficiente para el correcto funcionamiento. Así se está funcionando en varias desaladoras, pero por desgracia no siempre, y más en el caso futuro de grandes instalaciones, será factible esta solución y tendremos que recurrir a tomas de agua superficial y pretratamientos más complejos, pero nunca debemos renunciar a instalar una desaladora allí donde sea necesario por el hecho de tener que recurrir a esta solución más compleja porque este problema siempre tiene una solución técnica.

Los avances previsibles a corto plazo en el pretratamiento apuntan claramente hacia la Micro y

Ultrafiltración. Si hoy todavía no se imponen es por su mayor costo pero las líneas de desarrollo deben orientarse hacia la bajada de precio, la mejora de los sistemas de limpieza y la intercambiabilidad de los elementos entre los distintos fabricantes, igual que sucede con las membranas de ósmosis inversa.

Esta línea de pretratamiento con membranas que ya hemos experimentado con resultados óptimos pero de elevado coste, comparado con el pretratamiento convencional marca una tendencia a la baja, igual que ha ocurrido con la bajada de precio de las membranas de ósmosis.

Sistema de alta presión y recuperación de energía.

Este sistema, consistente en un conjunto compuesto de bomba centrífuga, motor y turbina hidráulica que ayuda al giro del motor, es el que se ha venido utilizando desde el principio hasta hoy, mejorando cada vez hasta reducir a la mitad los consumos de las primeras instalaciones.

El cambio más notable fue la sustitución de turbinas Francis por turbinas Peltón, una vez que éstas se desarrollaron para su funcionamiento con salmuera.



Desaladora de Denia



*Desaladora de Adeje-Arona
en fase de construcción*

De este sistema clásico y bien contrastado no cabe esperar mejoras sustanciales y sumando las mejoras de rendimiento en bombas y turbinas no sobrepasaremos el ahorro entre 0.18 y 0.2 Kwh/m³.

La tendencia de futuro apunta claramente hacia un cambio de concepción importante en el sistema de recuperación de energía basado en los convertidores hidráulicos o cámaras hiperbáricas. Estos equipos, todos ellos basados en el mismo principio físico de transmisión de presión de la salmuera a la alimentación de agua de mar, han dado origen a modelos mecánicos diferentes que se están desarrollando a gran velocidad. Existen diversas patentes, una de ellas española, que están lanzadas a gran velocidad para introducirse en este mercado.

El ahorro energético puede representar entre 0.4 y 0.5 Kwh/m³. Esto supondrá un consumo de proceso entre 2.4 y 2.5 Kwh/m³.

El margen entre esta cifra y el mínimo teórico que para una conversión de 45% es de 1 kwh/m³ todavía permite algunas mejoras, donde tienen que colaborar no sólo estos equipos, sino también las propias membranas, como se verá más adelante. En el pasado mes de julio, he podido analizar un diseño, aún experimental, de una instalación prevista para un consumo específico de 1.5 Kwh/m³. Esto refleja la preocupación palpable por vencer en esta carrera de la que la beneficiaria será la desalación.

Sistema de Ósmosis Inversa

Las membranas de ósmosis inversa, construidas inicialmente con acetato de celulosa fueron rápidamente sustituidas por las poliamidas aromáticas, llegando a desplazarlas totalmente en el mercado del agua de mar.

Dentro de las membranas de poliamida existen

dos tipologías bien diferentes: las de fibra hueca y las de arrollamiento espiral.

Por razones de precio y de menor consumo, también se han ido imponiendo las de arrollamiento espiral sobre fibra hueca.

Todos los fabricantes de membranas han ido produciendo membranas que siempre bajaban de precio y mejoraban la calidad. Este camino no ha terminado y apunta claramente en las siguientes líneas:

- Resistencia al cloro y otros oxidantes.
- Mayor resistencia de ensuciamiento producido por coloides.
- Mayor productividad a menor presión de funcionamiento.
- Mayor selectividad en el rechazo de boro e iones monovalentes.
- Menor rechazo de iones divalentes.

Todas estas propuestas van a fructificar en poco tiempo de tal forma que la sustitución de las membranas nuevas pueda hacerse con los tipos de nueva generación. Todos estos caminos de avance son importantes pero en especial el que apunta a la bajada de la presión de funcionamiento al incrementar la permeabilidad de la membrana. Este avance se traduce de forma inmediata en reducción de consumo específico ya que una bajada entre 6 y 7 kg/m² en la presión de proceso supone una bajada de 0.35 Kwh/m³.

En el avance de las nuevas membranas y en la mejora de los sistemas de presión y recuperación de energía se encuentra la gran esperanza de rebajar hasta límites impensables hace pocos años el consumo específico de la desalación.

Postratamiento

El agua desalada a la salida de membranas presenta un pH ligeramente ácido y una agresividad elevada. Una forma de mejorar las características



Desaladora de Adeje-Arona

del agua desalada es la mezcla con agua de otra procedencia. Si esto no es posible, hay que realizar el postratamiento a la salida de la desaladora a base de añadir hidróxido cálcico y CO_2 , si se requiere dar el calificativo de agua potable.

Hacia el futuro se deben tender a exigir una calidad en función del uso y dar el calificativo de prepotable. No se debe exigir al agua desalada lo que no exigimos al agua en la boca de un pozo de agua subterránea. La condición de potable debe darse al agua cuando va a ser distribuida. No tiene sentido exigir calidad potable al agua de la desaladora que posteriormente se ha de mezclar con otras fuentes no potables. La eliminación, aunque no con carácter general, del postratamiento contribuirá a rebajar el coste del agua desalada.

DESALACIÓN Y MEDIO AMBIENTE

La incorporación a la legislación española de la directiva comunitaria sobre calidad del agua de

consumo humano ha quedado plasmada en el Real Decreto 140/2003 donde se recogen los criterios de calidad y los parámetros que ha de cumplir el agua en el punto donde se pone a disposición del consumidor. Son muchos los sitios donde el agua incumple de forma permanente o temporal dicha norma de calidad, obligando a comunicar como excepción el incumplimiento de dicha norma.

No son pocos los lugares en España y en muchos otros países donde por elevada dureza, alto contenido salino, alta concentración de sulfatos, boro, pesticidas y organoclorados, hacen que se incumpla la norma o, aún cumpliéndola, se rocen valores que obligan a la población a no utilizar el agua potable como agua de boca.

Es precisamente en estos casos donde se esta abriendo un campo importante para el empleo de membranas de ósmosis inversa, nanofiltración y electrodiálisis para mejorar la calidad de agua de abastecimiento. En este campo son de destacar las actuaciones que se están llevando a cabo

en Málaga, donde era frecuente excepcionar el abastecimiento sobre todo por elevada dureza y alto contenido en sodio. Con la construcción de la Planta de El Atabal se persigue como objetivo de calidad cumplir en todo momento la reglamentación sanitaria, con independencia de la calidad del agua bruta, que puede oscilar en salinidad total entre 1 y 6 gramos por litro. La incorporación de una planta de ósmosis inversa, de 165.000 m³/día, usando como pretratamiento de la misma, la existente planta de tratamiento de diseño convencional (decantación, filtración, cloración), va a constituir la primera actuación importante a escala mundial en este campo. Otras actuaciones, en parte parecidas, se están llevando a cabo en Holanda, París, Londres y otros lugares. Sin duda este campo que se abre, donde el objetivo no es aportar nuevos recursos, sino mejorar la calidad de los existentes, tiene un futuro muy prometedor.

Toda instalación desaladora da origen a un vertido hipersalino que se devuelve al mar. Aunque no se añaden sales a las que el mar tiene, es cierto que se devuelven de forma concentrada. En los casos de las desaladoras de destilación dicho vertido también tiene una temperatura de unos 10 °C superior a la del mar. En suma, los rechazos de las desaladoras tienen que ser objeto de análisis medioambiental por la concentración localizada de sales y, en algunos casos, por el incremento de temperatura y las posibles influencias en la flora y la fauna marina.

Las afecciones de las desaladoras en Canarias, debido a las condiciones propias del clima marítimo en el Atlántico, son mínimas, comparadas con el Mediterráneo. El régimen de oleaje y amplitud de las mareas, hacen que la dilución del vertido de salmuera se realice en una superficie muy reducida, por lo que se asegura la nula influencia en la flora y en la fauna marina.

Desde hace pocos años, y en especial, desde que se ha extendido la desalación al arco mediterráneo, se ha puesto especial interés en las posibles influencias, en especial sobre la especie Posidonia Oceánica, endemismo del Mediterráneo de especial interés, cuya conservación es fundamental para el mantenimiento del ecosistema donde se encuentra.

La preocupación por evitar todo efecto perjudicial sobre el medio marino de los vertidos de salmuera ha llevado a realizar, coordinados por el Cedex, los estudios más serios y profundos realizados hasta ahora sobre la tolerancia de la Posidonia y sobre la forma de realizar el vertido para lograr diluciones admitidas por ella. Han sido pioneros en el mundo estos estudios, que han venido a demostrar por una parte la baja tolerancia de esta especie vegetal tan preciada (no más de 39 unidades prácticas de salinidad) y por otra la

posibilidad de lograr dicha dilución incluso en la proximidad de las praderas de Posidonia mediante difusores debidamente dimensionados. Estos estudios han sido fundamentales para resolver los vertidos en las desaladoras de Bahía de Palma, Cartagena y Alicante entre otros y se pretende llegar a elaborar una instrucción que permita solucionar en el futuro los problemas que puedan presentarse en cada caso.

La aplicación directa de la energía eólica a la desalación, sin previa transformación en energía eléctrica no ha dado por el momento fruto. Sin embargo, vincular la desalación a las energías renovables sí abre un camino de sumo interés, donde los proyectos de I+D deben tener un papel fundamental.

EVOLUCIÓN DE LOS COSTES DEL AGUA DESALADA

Nada mejor y más ilustrativo para analizar la evolución de los costes del agua desalada que comparar en un cuadro datos de 1995 con los datos vigentes hoy, junto a una previsión realista de los costes a corto plazo. Los costes se dan con la incorporación de los costes de bombeo del agua desalada a una cota aproximada de 100 m. Y una distancia en torno a 15 Km.

Se observa que los dos conceptos importantes en los que se ha producido una rebaja cuantiosa ha sido en el concepto energía, debido principalmente a la bajada del consumo específico de la energía y al concepto amortización por la bajada de intereses y del valor de la inversión.

En la batalla de la reducción del consumo específico hay que resaltar que en España se han obtenido los mejores logros. La ingeniería española hay que decir que está en el lugar más avanzado en cuanto al diseño más eficiente de las instalaciones desaladoras. Se ha llegado a rebajar el umbral de 4 kWh/m³ que parecía inalcanzable cuando se empezó a aplicar la ósmosis inversa.

El efecto inmediato de la bajada de costes ha sido la extensión a otros usos del agua desalada, en especial a la agricultura de alto valor añadido. Lo que era impensable en el año 1985, se está produciendo hoy en Almería y Murcia y la Desaladora de Carboneras (Almería) de 120.000 m³/día, ampliable a 240.000 m³/día, para riego de invernaderos en el Campo de Níjar, la mayor de Europa y una de las grandes instalaciones mundiales, son buena prueba de esta nueva aplicación. En Murcia está próximo a construirse otra instalación muy similar, también para uso agrícola.

El centro de gravedad de la desalación en España se ha trasladado de Canarias a la costa



La contribución de la desalación a la emisión de gases de efecto invernadero no se debe al proceso propio de desalar sino que esta ligado a la emisión de estos gases por la generación de electricidad. De ahí el gran interés de vincular la producción de agua desalada con el incremento de producción de energías renovables

mediterránea. Las desaladoras de Ceuta (20.000 m³/día), Costa del Sol (65.000 m³/día), Almería (50.000 m³/día), Carboneras (120.000 m³/día), Cartagena (65.000 m³/día), Alicante (50.000 m³/día), Tordera (35.000 m³/día), Bahía de Palma (70.000 m³/día), Ibiza y Formentera (20.000 m³/día), todas ellas construidas más las previstas en Mazarrón (140.000 m³/día), la ampliación de Carboneras (120.000 m³/día), Barcelona (60.000 m³/día; ampliable a 180.000 m³/día), más otras ampliaciones en Baleares (50.000 m³/día) y Melilla (20.000 m³/día) dan prueba de lo dicho en cuanto a la importancia que va a cobrar en este campo el arco mediterráneo.

Esta experiencia española está despertando sumo interés en toda la cota norteafricana. Argelia, Túnez y Libia principalmente tienen grandes proyectos a corto plazo y, si bien en el pasado algunos optaron por la tecnología de destilación, igual que ocurrió en España, hoy ven con gran esperanza, el cambio tecnológico que hemos realizado aquí.

COSTES DEL AGUA DESALADA (Agua de mar)					
1. BASES DE CALCULO		1995	2002	2004	2010
• Coste de Inversión	€/m ³ y día	890	610	600	590
• Periodo de amortización	años	15	15	15	15
• Interés	%	10	4	4	4
• Consumo específico	kWh/m ³	5.3	4.1	3.6	2.9
• Precio energía	€/kWh	0.077	0.048	0.048	0.048
• Tipo de toma	Abierta	Abierta	Abierta	Abierta	Abierta
2. COSTE AGUA DESALADA					
• Energía eléctrica	€/m ³	0.408	0.196	0.172	0.139
• Personal	€/m ³	0.036	0.036	0.030	0.025
• Productos químicos	€/m ³	0.030	0.028	0.028	0.030
• Mantenimiento y otros	€/m ³	0.024	0.024	0.024	0.024
• Reposición de membrana	€/m ³	0.018	0.018	0.016	0.014
TOTAL EXPLOTACIÓN		0.516	0.302	0.270	0.232
AMOTIZACIÓN		0.337	0.170	0.168	0.165
COSTE TOTAL	€/m³	0.853	0.472	0.438	0.397



Desaladora de Alicante

La DESALACIÓN de AGUA DE MAR y el VERTIDO de la SALMUERA

Miguel Torres
Jefe de Área de Calidad de las Aguas. CEDEX

La desalación es un proceso por el cual el agua de mar puede convertirse en un recurso hídrico perfectamente aprovechable, tanto para el abastecimiento humano, como para el riego y usos industriales. Este viejo sueño del hombre de utilizar el agua de mar como recurso hídrico, abrigado desde la Grecia clásica, puede decirse que no se concreta en una tecnología eficiente hasta avanzados los años de la década de 1950.

El agua pura en estado líquido prácticamente no se encuentra en la naturaleza. Lo que llamamos agua es en realidad una disolución de diversas sales en agua. Cuando bebemos agua, percibimos distintos sabores que son debidos a las sales que contiene. En las zonas costeras, sobre todo del Mediterráneo o en las islas, podemos notar que el agua tiene

peor sabor, no cuece bien las legumbres e incluso no hace espuma el jabón. Hay que recurrir al agua embotellada para atender a los usos del agua de boca. Muchos habitantes de zonas de sierra notan perfectamente estos efectos cuando se desplazan a la costa en las vacaciones. Esto es debido a la mayor cantidad de sales que contiene el agua que se consume en estas zonas.

En la naturaleza encontramos el agua en los tres estados: sólido en el hielo de los polos terrestres, líquido en los ríos, fuentes y mares y gaseoso como vapor de agua en la atmósfera. De los tres estados, sólo el hielo y el vapor de agua puede considerarse que es agua químicamente pura, pero, en estado líquido, en realidad lo que denominamos agua son distintas disoluciones naturales que varían, desde las aguas muy finas

de manantial de montaña de 0.2 gramos de sal por litro hasta los 35 del agua de mar y los más de 45 de las salmueras, pasando por toda una gama de aguas salobres de concentraciones entre 3 y 25 gramos por litro.

El agua para el consumo humano no debe, ni tener más de 0.5 gramos por litro ni ser agua destilada. En ambos casos no son provechosas para el organismo. Por tanto, si queremos obtener agua potable a partir del agua del mar (agua de 35 gramos por litro) tendremos que separar las sales que contiene hasta llegar al agua potable (< 0.5 gramos por litro). En esto consiste la desalación de agua de mar.

Desde la Grecia Clásica

El filósofo Aristóteles observando la naturaleza captó los principios físicos para separar el

En la actualidad se producen más de 24 millones de metros cúbicos al día de agua desalada en todo el mundo, lo que sería suficiente para abastecer a una población superior a 120 millones de habitantes



agua y las sales en los que se basan las tecnologías modernas de la desalación. En la superficie del mar se produce una evaporación por la que el vapor de agua se desprende, dejando la sal en el mar y pasando el vapor a la atmósfera, que después dará origen a la lluvia, caerá a la tierra y volverá al mar, completando el ciclo del agua en la naturaleza. En este principio se basa uno de los procesos de desalación consistente en evaporar el agua del mar y después condensar el vapor, obteniendo agua dulce en estado líquido.

Otro fenómeno que también observamos en la naturaleza es la captación del agua de la tierra, que hacen las plantas. El agua penetra en la planta a través de la raíz, pasando a la savia. Cuando dejamos las legumbres en agua, se ablandan y se hinchan porque el agua pasa a través de la piel. Ante estos dos fenómenos, observamos que existen membranas que separan las sales del agua, lo que se conoce con el término científico de ósmosis.

Estos fenómenos naturales de evaporación y ósmosis son la base de los procesos técnicos de desalación que el hombre ha llegado a utilizar, desarrollando y controlando estos procesos naturales. Este control a voluntad de estos fenómenos siempre se hace aportando la energía imprescindible para lograr la separación de las sales y el agua. Esta

energía que en la naturaleza procede del sol, si queremos reproducirla en un lugar donde no llueve y hace falta agua, tendremos que hacerlo aportando energía, igual que si queremos obtener una temperatura confortable en casa, tendremos que gastar energía, en unos casos como calefacción y en otros como refrigeración.

Gracias a la aplicación de la desalación se han resuelto muchos graves problemas de falta de agua. En la actualidad se producen más de 24 millones de metros cúbicos al día de agua desalada en todo el mundo, lo que sería suficiente para abastecer una población superior a 120 millones de habitantes, lo cual da idea de la importancia de la desalación.

La geografía de la desalación se extiende por todo el mundo y tiene especial importancia en países tales como Arabia Saudita, Emiratos Árabes, Estados Unidos y Europa, con especial interés en España, donde desde los años 1970 se viene utilizando, primero en Canarias, pasando después a Baleares, la Península, Ceuta y últimamente Melilla, alcanzando en la actualidad una producción aproximada de 1.200.000 m³/día, correspondiendo 700.000 m³/día a la desalación de agua de mar y el resto al agua salobre (agua subterránea).

Balance positivo

La experiencia en desalación en España en los últimos 30 años arroja un balance muy positivo y así es reconocida internacionalmente. Cuando se observa el desarrollo experimentado en islas como Lanzarote y Fuerteventura, que sólo disponen de recursos hídricos procedentes de la desalación, se pueden constatar de manera evidente los beneficios de aportar agua a un territorio que tiene grandes posibilidades potenciales, sólo limitadas por la falta de recursos hídricos. Esto mismo se ha podido comprobar en Gran Canaria, Tenerife, Ceuta, Mallorca, Ibiza, etc. y más recientemente en Alicante. La instalación de las desaladoras evitó las restricciones de abastecimiento urbano en Mallorca los años de extrema sequía vividos entre 1997 y 2000.

Diferencias entre agua dulce, agua de mar y salmuera

Desde el punto de vista físico y químico, las diferencias entre el agua dulce, el agua de mar y la salmuera sólo están en la distinta concentración de sales de cada una, variando entre 0.5 gramos por litro en agua dulce, 34 en el agua de mar y 69 en la salmuera. A simple vista no se puede diferenciar una de otra. Son tres líquidos perfectamente

transparentes, sin color ni olor, que sólo se distinguen por el sabor debido a la diferente concentración de sales en cada una.

En el proceso de desalación, por cada litro de agua que sacamos del mar, obtenemos casi la mitad de agua dulce (0,45 litros) y algo más de la mitad de salmuera (0.55 litros). Este balance, aplicado como ejemplo al caso de la desaladora de Alicante de 50.000 m³/día es el que se refleja en el siguiente gráfico:



Existen formas óptimas de vertido de la salmuera que evitan cualquier efecto medioambiental negativo y con la aplicación de herramientas matemáticas de cálculo siempre se llega a una solución perfectamente viable técnica y económicamente



Se puede ver que al mar no se le añade sal, simplemente se devuelve la misma que tenía pero en menor cantidad de agua.

Últimamente se han extendido numerosos tópicos falsos sobre la salmuera de las desaladoras, llegando a decir que es sal en estado puro que mata la flora y fauna marina. El Presidente de la Generalitat Valenciana, en conversación con el Presidente de Aragón, recogida en el periódico "El País" del pasado día 7 decía lo siguiente:

"Por cada hectómetro cúbico desalado tiramos al mar otro de salmuera, o sea, sal en estado puro que abrasa la vegetación del litoral lo que generaría la muerte inmediata de la fauna marina"



Parece poco congruente inaugurar la desaladora de Alicante el 23 de septiembre pasado y cantar sus excelencias por la contribución a resolver los problemas del abastecimiento urbano y pensar que son ciertos estos efectos.

También se ha dicho que la salmuera es un líquido espeso y marrón, cuando puede observarse en todas las desaladoras en funcionamiento, tanto en España como en el mundo que se trata de un líquido transparente y limpio, imposible de distinguir a simple vista del agua de mar.

¿Cómo se debe devolver la salmuera al mar?

Si con la salmuera no se añade sal al mar y sólo se le devuelve la que previamente tenía, lo que hay que hacer es verterla de tal forma que se diluya rápidamente en la

masa de agua de mar. Al fin y al cabo toda la salmuera representa una pequeñísima gota, si la comparamos con todo el volumen de agua del mar.

La preocupación por los posibles efectos de los vertidos de salmuera de las desaladoras en la flora y fauna marina es relativamente reciente. Aunque existen desaladoras funcionando desde hace muchos años y no se había observado ningún cambio en la flora y fauna en la zona de vertido, bastó que la comunidad científica advirtiera de los posibles efectos negativos, para que se hayan puesto todos los medios para estudiar el problema y buscar la solución.

En primer lugar se estudió la tolerancia a la salinidad de las especies más sensibles y con mayor grado de protección en las directivas medioambientales españolas y eu-

ropeas, entre la que se encuentra la posidonia oceánica, planta que vive en el Mediterráneo, en las proximidades de las costas y que forma un hábitat de gran valor para el desarrollo de los peces, fijar los bancos de arena y oxigenar el agua de mar. Es por lo tanto obligado proteger completamente esta especie y evitar el más mínimo efecto negativo sobre la misma.

Este estudio de la tolerancia a la salinidad de la posidonia oceánica se ha llevado a cabo en los últimos 3 años, llegando a fijar la salinidad máxima tolerable en 38.5 unidades prácticas de salinidad que son aproximadamente equivalentes a 39 gramos por litro. En este estudio han participado los organismos científicos españoles más prestigiosos en las ciencias del mar.

Una vez fijada la tolerancia máxima de salinidad, la solución tiene que venir de la mano de los técnicos que siempre podrán diseñar una solución física del vertido para lograr la disolución natural de la salmuera en la propia masa de agua de mar, hasta alcanzar los límites de tolerancia fijados.

No deben darse recetas generales, sino estudiar en cada caso la mejor solución. Siempre se podrá encontrar la forma óptima de vertido que evite completamente cualquier efecto medioambiental negativo. Las distintas tipologías existentes como puede ser la disolución de la salmuera antes del vertido con más agua de mar (Carboneras y Javea), vertido en las desembocadu-

ras de ramblas donde la posidonia se encuentra muy alejada (Alicante, Bahía de Palma, etc.) y el vertido en zonas de fuertes rompientes prueban que en muchos casos la solución puede ser muy sencilla.

En los casos más difíciles por la proximidad a pocos metros de la costa de la pradera de posidonia (los proyectos nuevos para Murcia o Baleares) se ha diseñado una solución también sencilla pero más elaborada, consistente en distribuir la salmuera por diversos difusores de tal forma que al salir la salmuera y chocar con la propia agua de mar produce una agitación que hace que se homogeneice en salinidad toda la masa de agua de mar que circunda al difusor. Por simplificar, se logra el mismo efecto que al agitar el azúcar en el fondo de la taza del café para unificar el sabor.

Con la aplicación de las herramientas matemáticas de cálculo, ya disponibles, siempre se llega a una solución perfectamente viable, técnica y económicamente.

Hay que hacer constar que el rigor con el que se ha acometido en España tanto el estudio de la tolerancia de las especies protegidas como la solución técnica de cada caso, objeto de ponencias en varios congresos, ha sido muy apreciado por la comunidad mundial de la desalación. Desde Estados Unidos a Argelia, Marruecos, Israel entre otros han solicitado información sobre nuestra experiencia, que en menos de tres años ha analizado el problema y ha aportado la solución. 🌊

Desde Estados Unidos a Argelia, Marruecos e Israel han solicitado información sobre la experiencia española en desalación y vertido de salmuera

Al mar no se le añade sal, simplemente se devuelve la misma que tenía pero en menor cantidad de agua



**Seawater Desalination
And the California Coastal Act**

**California Coastal Commission
March 2004**



SEAWATER DESALINATION AND THE CALIFORNIA COASTAL ACT
- MARCH 2004 -

[this page intentionally blank]

SEAWATER DESALINATION AND THE CALIFORNIA COASTAL ACT
- MARCH 2004 -

TABLE OF CONTENTS

EXECUTIVE SUMMARY	5
CHAPTER 1: INTRODUCTION AND BACKGROUND	9
1.1 PURPOSE OF REPORT	9
1.2 PRIMARY FINDINGS AND RECOMMENDATIONS	11
1.3 REPORT ORGANIZATION	14
1.4 EXISTING AND PROPOSED DESALINATION FACILITIES ALONG THE CALIFORNIA COAST	15
<i>TABLE 1: EXISTING DESALINATION FACILITIES ALONG THE CALIFORNIA COAST.....</i>	<i>15</i>
<i>TABLE 2: PROPOSED DESALINATION FACILITIES ALONG THE CALIFORNIA COAST</i>	<i>16</i>
1.5 OTHER STATE, FEDERAL, AND LOCAL DESALINATION INITIATIVES	17
CHAPTER 2: ELEMENTS OF COASTAL ACT REVIEW.....	21
2.1 ABOUT THE CALIFORNIA COASTAL ACT	21
2.2 KEY COASTAL ACT TERMS	23
2.2.1 “FEASIBILITY”, “ALTERNATIVES”, AND “MITIGATION”	23
2.2.2 “COASTAL-DEPENDENT” AND “COASTAL-RELATED”	27
CHAPTER 3: TECHNICAL AND ECONOMIC ASPECTS OF DESALINATION	31
3.1 DESALINATION METHODS AND PROCESSES	31
3.2 DESALINATION ECONOMICS AND ENERGY USE	33
<i>TABLE 3: PLANNED COSTS OF SEVERAL SOUTHERN CALIFORNIA DESALINATION PROPOSALS.....</i>	<i>37</i>
CHAPTER 4: COASTAL ACT PUBLIC RESOURCE POLICIES RELATED TO DESALINATION.....	39
4.1 COASTAL RESOURCES AS PUBLIC RESOURCES.....	39
4.1.1 SEAWATER AS PART OF THE PUBLIC “COMMONS”	39
4.1.2 COASTAL ACT CONSIDERATIONS OF PUBLIC OR PRIVATE OWNERSHIP OF WATER SERVICES	43
4.2 POTENTIAL EFFECTS OF INTERNATIONAL TRADE AGREEMENTS ON WATER SERVICES.....	48
4.3 COASTAL ACT PUBLIC RESOURCE POLICIES	54
4.3.1 GROWTH-INDUCEMENT	54
4.3.2 PRIORITY USES.....	59
4.3.3 PUBLIC ACCESS AND RECREATION	61
CHAPTER 5: COASTAL ACT ENVIRONMENTAL POLICIES RELATED TO DESALINATION.....	65
5.1 POTENTIAL IMPACTS ON THE MARINE ENVIRONMENT	65
5.1.1 EFFECTS OF DESALINATION INTAKES ON MARINE BIOLOGY AND WATER QUALITY	68
5.1.2 EFFECTS OF DESALINATION DISCHARGES ON MARINE BIOLOGY AND WATER QUALITY	76
5.1.3 ISSUES RELATED TO CO-LOCATING DESALINATION FACILITIES AT COASTAL POWER PLANTS	79
5.2 OTHER COASTAL ACT ENVIRONMENTAL POLICIES	84
5.2.1 SPILL PREVENTION AND RESPONSE	84
5.2.2 HAZARDS AND EROSION.....	84
5.2.3 UPLAND HABITATS AND ENVIRONMENTALLY SENSITIVE HABITAT AREAS (ESHAS).....	85
5.2.4 VISUAL AND SCENIC RESOURCES	86
5.3 CUMULATIVE IMPACTS	87
CHAPTER 6: OTHER REGULATIONS AND PERMITS	89
6.1 CALIFORNIA ENVIRONMENTAL QUALITY ACT (CEQA).....	89
<i>TABLE 4: PERMITS/APPROVALS LIKELY REQUIRED FOR A COASTAL DESALINATION FACILITY.....</i>	<i>90</i>
6.2 AGENCIES WITH JURISDICTION	91
BIBLIOGRAPHY	95
APPENDIX A: GLOSSARY AND ACRONYMS	97

SEAWATER DESALINATION AND THE CALIFORNIA COASTAL ACT
- MARCH 2004 -

[this page intentionally blank]

EXECUTIVE SUMMARY

In view of evolving issues relating to adequacy of water supplies to meet the state's projected population growth, desalination will obviously be an important part of California's water future. The question is not whether, but rather how, where, when, by whom, and under what conditions will desalination projects be designed, built, and operated.

There is growing interest and concern about seawater desalination along the California coast. The interest is due in large part to recent technological developments that reduce the costs and energy requirements of producing desalinated water. Additionally, many water agencies and purveyors are interested in reducing their dependence on imported water supplies and view desalination as providing a reliable and local source of water. The concerns about desalination are due primarily to its potential to cause adverse effects and growth that are beyond the capacity of California's coastal resources.

There are currently about two dozen seawater desalination facilities being proposed along the California coast, including some that would be the largest in the U.S. The state does not have a great deal of recent experience or expertise in evaluating the environmental impacts or the public resource issues associated with desalination, and this report is meant to identify many of the elements that will likely be a part of these upcoming evaluations.

The California Coastal Commission will be involved in nearly all coastal desalination proposals, either through planning, permitting, permit appeals, or other forms of review. This report from Commission staff is meant to help with those reviews in several ways:

- It provides general information for the Commission, applicants, and the interested public about the issues related to desalination along the California coast, and desalination's possible effects on coastal resources and coastal uses;
- It describes the status of seawater desalination in California and the proposed facilities now being planned;
- It identifies and discusses Coastal Act policies most likely to apply to proposed desalination facilities; and,
- It identifies much of the information likely to be required during coastal development permit review for proposed facilities.

Additionally, the report is based on several key points:

- ***It is meant to be informational only:*** The report does not create new regulations or guidelines for reviewing proposed desalination facilities. Rather, it describes desalination issues as they relate to existing Coastal Act policies, and discusses how these policies are likely to apply to a proposal.

SEAWATER DESALINATION AND THE CALIFORNIA COASTAL ACT

– MARCH 2004 –

- ***It is based on the need to provide case-by-case review:*** Because each proposed desalination facility will have unique design and siting characteristics, each is likely to be subject to a different set of Coastal Act policies and will likely conform to those policies in different ways. This report, therefore, makes no overarching recommendations in support or opposition to desalination. Some desalination proposals may be environmentally benign or may even provide environmental benefits, while others may cause significant adverse impacts. Determining whether a proposed project will conform to the Coastal Act will therefore be done on a case-by-case basis.
- ***It is written in a precautionary tone:*** Many of the concerns and issues involved in large-scale coastal desalination have not yet been tested in California, and much of the information about desalination, when it is available, has not yet been compiled in a comprehensive and useful way. As a result, much of this report is written in a precautionary tone. Some of the facilities being proposed raise significant public policy and environmental issues, and the consequences of some of those issues, such as the cumulative impacts of desalination on the marine ecosystem or the implications of consumptive use of ocean water under international trade agreements, are still emerging. It is therefore likely that upcoming reviews of proposed facilities will require comprehensive, detailed, and specific analysis to ensure the facilities meet applicable policies and allow the state to maintain and protect its coastal resources.

The report is also being issued as part of a larger statewide interest in determining the implications of desalination to California. In 2004, the Department of Water Resources convened a task force, pursuant to AB 2717, to identify the opportunities and constraints for desalination to provide part of the state's water supply, and to evaluate whether the state should play a role in supporting desalination. This report incorporates the work of the task force, as appropriate. It also incorporates many of the comments received during a ninety-day public review period in the fall of 2004 on a draft version of this report so as to more fully reflect concerns and issues related to desalination and Coastal Act policies.

INITIAL FINDINGS

Some of the key findings in this report include:

- ***Each proposed desalination facility will require case-by-case review:*** As stated above, because each facility has unique design, siting, and operating characteristics, different Coastal Act policies are likely to apply differently to each one. This will require case-by-case review to determine Coastal Act conformity, adverse impacts, and the measures necessary to avoid and mitigate for those impacts.
- ***Coastal Act policies do not suggest overall support of, or opposition to, desalination:*** The Coastal Act allows many types of development to occur within the coastal zone, as long as they conform to Coastal Act policies. Properly designed and operated desalination is one of these types of development.

SEAWATER DESALINATION AND THE CALIFORNIA COASTAL ACT

– MARCH 2004 –

- ***There may be differences in applying Coastal Act policies to public or private desalination facilities:*** The Coastal Act is based in part on many of the coastal resources of California being public resources, and the consumptive use of seawater by private entities will require thorough evaluation and adequate assurances that public uses and values will be protected. There are also numerous concerns about how various international trade agreements may affect implementation of not only the Coastal Act, but many other state and local environmental or public interest regulations.
- ***The most significant potential direct adverse environmental impact of seawater desalination is likely to be on marine organisms:*** This impact is due primarily to the effects of the seawater intake and discharge on nearby marine life; however, these effects can be avoided or minimized through proper facility design, siting, and operation.
- ***The most significant potential indirect adverse impacts are likely to be those associated with growth-inducement:*** Review of coastal desalination facilities will likely need to assess whether the water supply provided by then new facilities comes with assurances that the resulting growth will not exceed the capacity of coastal resources.
- ***Desalination facilities proposing to co-locate with coastal power plants will raise unique issues and will need to be reviewed differently than facilities proposing to locate independently:*** The largest proposed desalination facilities would be located at coastal power plants that use ocean water for cooling. While this co-location may offer some advantages, review of such facilities will need to consider the combined and incremental effects caused by operating desalination facilities at coastal power plants using up to hundreds of millions of gallons per day of seawater.

SUMMARY OF PUBLIC COMMENTS

Commission staff received numerous comments during public review of the draft version of this report. The primary types of comments are summarized below:

Regarding the benefits of desalination: Commenters suggested the report describe more of the benefits associated with desalination, such as reducing dependence on imported water supplies, providing better quality drinking water, reducing pressure on other surface water sources, etc.

In response, the report now includes descriptions or acknowledgement of several additional benefits that may result from desalination. It has kept its overall cautionary tone, however, in recognition of the high degree of uncertainty about the effects of desalination on a variety of coastal resources.

Regarding growth-inducement: Comments ranged from recognizing this as the most critical aspect associated with desalination's effects on the coast to statements that the Coastal Act does not allow the Coastal Commission to review growth-inducing aspects of development.

In response, the report retains and clarifies its discussion on growth-inducement as a part of Coastal Act review, and also recognizes that some aspects of this issue are often addressed through other local, regional, or state processes.

SEAWATER DESALINATION AND THE CALIFORNIA COASTAL ACT

– MARCH 2004 –

Regarding desalination effects on water quality and marine biology: Comments ranged from recognizing these as potentially significant impacts to recommending the Coastal Commission defer evaluation of these issues to other agencies.

In response, the report retains and clarifies discussion of these issues and emphasizes the Coastal Commission's role in maintaining, restoring, and enhancing coastal water quality and habitats.

Regarding co-locating desalination facilities with power plants: Commenters suggested the report emphasize the benefits of co-locating with existing power plants using once-through cooling. Other commenters expressed concerns that co-location could allow continuation and expansion of environmentally harmful effects associated with once-through cooling system.

In response, the report includes a separate section on this issue and describes both the advantages and concerns that may be brought about by co-location.

Regarding public, private, and international trade issues: Comments ranged from those recognizing these issues as critical in the Commission's deliberations about desalination and other issues that could affect coastal resources to those strongly suggesting these issues had no place in this report.

In response, and with additional research, the report retains its discussion of these issues, although with more recognition of the questions still needing to be answered than the answers themselves.

Regarding "coastal-dependency": Several commenters suggested for various reasons – its dependence on seawater, its similarity to other uses so designated, etc. – that desalination should be considered "coastal-dependent" for purposes of Coastal Act review.

In response, the report re-iterates the likelihood that portions of many desalination facilities may be considered "coastal-dependent" and that other portions might not be. It also provides a more detailed description of related policies and examples of other similar situations in which distinctions were made between "coastal-dependent" and non-"coastal-dependent" portions of proposed developments.

CHAPTER 1: INTRODUCTION AND BACKGROUND

Chapter Sections:

- 1.1 Purpose of Report**
- 1.2 Primary Findings and Recommendations**
- 1.3 Report Organization**
- 1.4 Existing and Proposed Desalination Facilities Along the California Coast**
- 1.5 Other State, Federal, and Local Desalination Initiatives**

1.1 PURPOSE OF REPORT

For years, desalination has been considered as a possible source of fresh water for areas of coastal California. Along many parts of the coast, the amount of available water has been one of the primary limits on the rate of growth. However, despite the abundance of water in the Pacific Ocean, desalination's relatively high costs and energy requirements have resulted in coastal areas getting most of their water supply from other sources such as groundwater and imported water or from water conservation measures.

Recent changes in desalination technology have reduced its costs to levels closer to those of some of these other sources. Additionally, many are looking at desalination as a way to provide a more reliable supply of water during the state's recurring droughts and to reduce the dependence of coastal communities on water imported from inland areas. Additional interest has been generated by recently implemented state laws that require proposed developments to provide more certainty of adequate water supplies during environmental or permit review. As a result, desalination is currently being considered as a more feasible source of water in many areas of the California coast than it had been previously.

Seawater desalination also raises concerns about how it will affect marine life, water quality, public access, and other coastal resources. Numerous studies and reports identify the adverse effects of pollution, overfishing, and other unsustainable practices on water quality and marine life along the California coast, and poorly designed desalination facilities, particularly at the scale of some proposed in California, could not only cause significant adverse impacts on their own, but could add substantially to the cumulative detrimental effects already occurring.

Desalination facilities proposed along California's coast will require review by the California Coastal Commission to determine whether the proposal conforms to the policies of the California Coastal Act. This report, by Coastal Commission staff, addresses many of the issues that are likely to be considered during such a review, and is meant to serve a number of purposes:

- It provides information to the Coastal Commission, applicants, and the interested public about many of the issues related to desalination along the California coast, especially as they relate to the Coastal Act.

SEAWATER DESALINATION AND THE CALIFORNIA COASTAL ACT

– MARCH 2004 –

- It describes much of the information and evaluation that will likely be needed as part of the Coastal Commission’s review of proposed facilities to determine whether the proposals conform to Coastal Act policies.
- It summarizes the status of desalination along the coast and lists the known anticipated facilities now being planned.
- It updates the Coastal Commission’s 1993 report, Seawater Desalination in California, to reflect changes in desalination technology, improved understanding of coastal resources, and additional policy considerations of the Coastal Act. When the 1993 report was published, the state was just coming out of a period of several years of low water supplies, and there were about a dozen relatively small desalination facilities along the California coast, producing relatively expensive water primarily for drought relief, emergency supply, or for use in areas isolated from other water sources. Since that time, with increasing pressures on other available sources of water and decreasing economic costs of desalination, facilities being proposed would increase seawater desalination eighty-fold along the coast.
- It reflects some of the recent work done by two working groups looking at desalination in California. One group, a state desalination task force convened by the California Department of Water Resources, was formed pursuant to AB 2717 and was asked to identify the opportunities and constraints for desalination in the state and determine what role, if any, the state should play in furthering desalination technology. This group developed a number of findings and recommendations, many of which are incorporated into this report. Another group, convened by the Monterey Bay National Marine Sanctuary as part of the Sanctuary’s Management Plan Update, developed recommendations regarding desalination for the Sanctuary’s update of its Management Plan. While this latter group’s efforts focused on desalination within the Sanctuary boundary, much of its work is applicable to the entire California coast.
- Finally, pursuant to Coastal Act Section 30006.5, the report is meant to provide “sound and timely scientific recommendations to the Coastal Commission” to use during deliberations on significant issues related to coastal resources.

CAVEATS

Several important caveats should be noted regarding this report:

- Because the report evaluates desalination in general rather than reviews a specific proposal, it is not meant to represent the definitive set of issues and concerns that would be addressed during review of any particular proposal. Each review will likely raise unique Coastal Act conformity issues based on the location, design, and operation of each proposed facility. The report, however, does describe a fairly complete range of the more significant issues that may be involved in reviewing any given proposed facility.
- The report is focused primarily on how proposed seawater desalination facilities are likely to be evaluated for conformity to Coastal Act policies. It is not meant to identify all the other issues that may come up during review under other regulations, such as local zoning

SEAWATER DESALINATION AND THE CALIFORNIA COASTAL ACT
– MARCH 2004 –

ordinances, health department requirements, or others, although many may be the same or similar to those discussed herein.

- While the report mentions some of the broader issues involved in planning for state or regional water supplies, such as discussing the role of imported water, conservation, or elements that may be included in a comprehensive water portfolio, it is not meant to replace the more detailed planning needed at the state, regional, or local level to fully evaluate the mix of sources and uses for a community's water supply.
- Finally, given the state's limited experience with large-scale seawater desalination and the many uncertainties about how such facilities may affect coastal resources, the report is written in a cautionary tone. There is relatively little information available on many aspects of desalination – such as its effects on particular marine species or habitats, whether monitoring requirements at existing facilities adequately characterize the effects the facilities are having, and the potential cumulative impacts of water withdrawals and discharges from multiple desalination facilities or other types of facilities in a waterbody – and so, absent a large body of research or scientific certainty, the report attempts to make it clear that review of a proposed project may require significant information to provide the level of certainty needed to determine whether a facility will conform to the Coastal Act.

1.2 PRIMARY FINDINGS AND RECOMMENDATIONS

The report makes a number of findings and recommendations related to project review, protection of coastal resources, and the applicability of various Coastal Act policies, including the following:

GENERAL FINDINGS AND RECOMMENDATIONS

The report neither supports nor opposes desalination. Desalination has been identified as an important part of the state's future water supply. The California Department of Water Resources as well as a number of local or regional water agencies have identified desalination as providing a portion of the water they expect to provide to the state over the next several decades. If properly sited, designed, and operated, some desalination facilities could be operated in an environmentally benign manner and conform to Coastal Act requirements, and may even result in some environmental benefits, while other proposed facilities would likely cause significant adverse effects and not conform to applicable regulations.

Desalination facilities will require case-by-case review. Because each proposed facility would have a different design and location, each will also raise different issues of concern and likely be subject to a different mix of Coastal Act policies. Therefore, the information provided in this report recognizes that each desalination proposal will require case-by-case review. This approach will allow each proposal to be reviewed based on the specific characteristics of the proposed facility and the particular coastal resources of concern at specific sites, and will allow necessary mitigation measures to be tailored to each. Although each facility will undergo case-by-case review and a location-specific evaluation, this report is meant to provide sufficient general information about the types of review and the level of detail likely to be required to complete Coastal Commission review.

SEAWATER DESALINATION AND THE CALIFORNIA COASTAL ACT
– MARCH 2004 –

PLANNING

A desalination facility's most significant effect could be its potential for inducing growth.

The existing pressures on California's coastal resources are substantial, even with the protections provided by such measures as the Coastal Act and other laws. If desalination removes the limits imposed on growth along the coast due to the current limited supply of water, the degradation of coastal resources could increase beyond sustainable levels. Adequate, comprehensive review of these issues will be a critical part of reviewing proposed facilities to ensure the California coast remains a place of environmental value and public enjoyment.

Desalination proposals should be reviewed in the context of an overall water management plan. A proposed desalination facility should not be reviewed in isolation – it should be part of a comprehensive water management approach that identifies other water sources, incorporates conservation methods, and assesses alternative methods of providing a community's water supply. A comprehensive plan should identify and implement all opportunities for water conservation and reclamation that would reduce impacts on coastal resources. As part of this approach, Local Coastal Programs (LCPs) should incorporate and encourage use of conservation and reclamation measures to reduce the need for new water projects. LCPs should also specify the quantity of water supplies that will be needed for the planned levels of development.

There may be significant differences in determining whether public or private desalination facilities conform to Coastal Act policies. The Coastal Act is based largely on coastal resources being public resources. Private consumptive use of these resources will likely result in a different type of review than public use. Water is often the limiting factor for potential development projects and growth within a community. Because the form of ownership and operation of a desalination facility may contribute to whether its water allocations are consistent with the development priorities mandated in the Coastal Act or incorporated in a certified LCP, the Commission should evaluate whether special or additional conditions may be necessary or appropriate based on a proposed facility's form of ownership.

The cumulative impacts of a proposed desalination projects should be thoroughly evaluated during environmental review. Coastal Commission staff should work with the applicant, other agencies, and the interested public to consider the potential cumulative impacts of desalination projects. Among the important issues to address are the impacts of building a number of small facilities versus a few larger ones, the cumulative impacts on growth from the additional water supplied by new facilities, and the environmental effects of additional power production needed to operate the facilities.

REVIEW PROCEDURES

There should be early coordination between project proponents and involved agencies.

The Coastal Commission staff should become involved in a desalination project proposal as early as possible in the applicable planning processes, including but not limited to those

SEAWATER DESALINATION AND THE CALIFORNIA COASTAL ACT
– MARCH 2004 –

mandated under CEQA and/or NEPA, and those carried out by local or regional water supply agencies.

FACILITY DESIGN AND OPERATIONS

The most significant direct adverse environmental impacts of seawater desalination facilities are likely to be their effects on marine organisms. Seawater desalination facilities that draw water directly from the open ocean or estuaries entrain and kill many small marine organisms, such as plankton, larvae, and fish eggs. In some cases, this impact could be significant, especially with a large or poorly sited intake. However, there are several alternative designs and mitigation measures that could completely avoid or substantially reduce this impact. Subsurface intakes, such as beach wells or infiltration galleries, where feasible, have the significant advantage of eliminating impingement and entrainment impacts. Applicants are encouraged to use subsurface intakes whenever feasible, and where they will not cause significant adverse impacts to either beach topography or potable groundwater supplies. Projects proposing to use open water intakes should expect to provide information about their effects on marine organisms as part of their permit applications.

Facilities should be designed to avoid or minimize the use of hazardous chemicals.

Applicants are encouraged to select technologies and processes that minimize or eliminate the need for hazardous chemicals. This will reduce the disposal requirements for such substances, lessen the impacts of potential spills or releases from the facility, and reduce discharges of hazardous constituents into the ocean. Applicants should also select the least environmentally damaging options for feedwater treatment and cleaning of plant components.

Facilities should incorporate any of several ways to avoid or minimize adverse impacts associated with desalination discharges. Applicants should provide information about the potential impacts to marine resources from the proposed discharges. This information may be obtained from survey results, pre-operational monitoring, monitoring results from other desalination plants, or other sources. The information will then be reviewed by the Coastal Commission staff in consultation with the RWQCB with jurisdiction in the area where the facility is proposing to locate. Applicants should also evaluate options for combining brine discharges with discharges from a power plant or a sewage treatment plant. Combining the desalination discharge with other discharges may be preferable to direct discharges of brine and may result in fewer overall impacts, but this will require case-by-case review. When the brine will be combined with other discharges, the applicant should clearly identify which party or parties will be responsible for monitoring the discharges and for providing corrective measures for any adverse impacts that occur.

1.3 REPORT ORGANIZATION

Chapter 1 of this report provides a brief introduction, a description of existing and proposed desalination facilities along the California coast, and some of the current local, state, and federal initiatives on desalination. **Chapter 2** provides a summary of the Coastal Act – including its background, some of its policies and definitions, and its review process – and discusses how some of these issues are likely to be incorporated into the review of proposed desalination facilities. **Chapter 3** follows with a description of the main methods used in desalination and a discussion of desalination costs and energy requirements. **Chapter 4** discusses the primary public resource issues related to reviewing proposals for conformity to the Coastal Act, including the Public Trust Doctrine, issues of public or private ownership, international trade, and several specific Coastal Act policies. **Chapter 5** discusses some environmental effects that desalination may have on various coastal resources, in particular those associated with marine biology and water quality. **Chapter 6** provides a brief description of some other regulatory issues and the local, state, or federal agencies likely to be involved in desalination review. **Appendix A** includes a glossary of desalination-related terms. For ease of reading, many sections of the report start with **Main Points** that are then discussed in greater detail within that section of the report. In addition, many sections end with **What’s Likely Needed During Review?**, describing information about a proposed project that may be needed during Coastal Act review.

SEAWATER DESALINATION AND THE CALIFORNIA COASTAL ACT
– MARCH 2004 –

1.4 EXISTING AND PROPOSED DESALINATION FACILITIES ALONG THE CALIFORNIA COAST

There are currently about a dozen existing desalination facilities along the California coast (see Table 1) and at about two dozen facilities being considered (see Table 2). Comparing the two tables gives a sense of the current high level of interest in desalination along the coast and the scale of the changes being considered. Existing coastal desalination facilities are relatively small, and in total, can produce up to a maximum of about 3300 acre-feet per year. The total output of all the currently proposed coastal facilities, including some that would be the largest in the country, would be about 260,000 acre-feet per year, which represents roughly a 80-fold increase in production.

TABLE 1: EXISTING DESALINATION FACILITIES ALONG THE CALIFORNIA COAST

Operator/Location/Purpose/ Public or Private:	Purpose/ Public or Private:	Maximum Capacity:	Status:
Chevron/ Gaviota	- Industrial processing - Private	410,000 gpd/ 460 AF/yr.	Active
City of Morro Bay	- Municipal/domestic - Public	830,000 gpd/ 929 AF/yr.	Intermittent use
City of Santa Barbara	- Municipal/domestic - Public	N/A	Inactive
Duke Energy/ Morro Bay Power Plant	- Industrial processing - Private	430,000 gpd/ 482 AF/yr.	Not known
Duke Energy/ Moss Landing Power Plant	- Industrial processing - Private	480,000 gpd/ 537 AF/yr.	Active
Marina Coast Water District	- Municipal/domestic - Public	300,000 gpd/ 335 AF/yr.	Active
Monterey Bay Aquarium	- Aquarium visitor use - Non-profit	40,000 gpd/ 45 AF/yr.	Active
PG&E/ Diablo Canyon	- Industrial processing - Private	576,000 gpd/ 645 AF/yr.	Not known
Santa Catalina Island	- Municipal/domestic - Private	132,000 gpd/ 148 AF/yr.	Not known
U.S. Navy/ Nicholas Island	- Municipal/domestic - Government	24,000 gpd/ 27 AF/yr.	Not known
Various offshore oil & gas platforms	- Platform uses - Private	2,000–30,000 gpd/ 2–33 AF/yr.	Active
Total Production:	~ 3 million gallons per day /3300 acre-feet per year		

Note: gpd = gallons per day, and AF/yr. = acre-feet per year. There are approximately 326,000 gallons in an acre-foot, which represents the amount of water it takes to cover an acre of land one foot deep. Typically, a household will use one to two acre-feet per year.

SEAWATER DESALINATION AND THE CALIFORNIA COASTAL ACT
- MARCH 2004 -

TABLE 2: PROPOSED DESALINATION FACILITIES ALONG THE CALIFORNIA COAST

Operator/ Location:	Purpose, and public or private:	Maximum Capacity:	Status:
Cambria Community Services District	- Municipal/ domestic - Public	500,000 gpd/ 560 AF/yr.	Planning
Ocean View Plaza/ Monterey	- New development - Private	5,000 gpd/ 6 AF/yr.	Planning
Carmel Area Wastewater District	- Municipal/ domestic - Public	Not known	Not known
City of San Buenaventura	- Municipal/ domestic - Public	Not known	Not known
City of Sand City	- Municipal/ domestic - Public	27,000 gpd/ 30 AF/yr.	Planning
City of Santa Cruz	- Municipal/ domestic - Public	2.5 million gpd/ 2800 AF/yr.	Planning
East-West Ranch/ Cambria	- New development - Private	Not known	Withdrawn
Marina Coast Water District/ Fort Ord	- Municipal/ domestic - Public	2.68 million gpd/ 3000 AF/yr.	Planning
Long Beach	- Research - Public	300,000 gpd/ 335 AF/yr.	Design phase
Long Beach	- Municipal/ domestic - Public	10 million gpd/ 11,000 AF/yr.	Planning
Los Angeles Dept. of Water and Power	- Municipal/ domestic - Public	10 million gpd/ 11,000 AF/yr.	Planning
Monterey Bay Shores	- New development - Private	20,000 gpd/ 22 AF/yr.	Not known
Monterey Peninsula Water Mgmt. District / Sand City	- Municipal/domestic - Public	7.5 million gpd/ 8,400 AF/yr.	Planning
Cal-Am/Moss Landing Power Plant	- Municipal/domestic	9 million gpd/ 10,000 AF/yr.	Planning
Municipal Water District of Orange County / Dana Point	- Municipal/domestic - Public	27 million gpd/ 30,000 AF/yr.	Planning
Poseidon Resources / Huntington Beach	- Various - Private	50 million gpd/ 55,000 AF/yr.	Draft EIR completed
San Diego County Water Authority / San Onofre Nuclear Generating Station	- Municipal/domestic - Public	TBD	Planning
San Diego County Water Authority / South County	- Municipal/domestic - Public	50 million gpd/ 55,000 AF/yr.	Planning
San Diego County Water Authority & Poseidon Resources /Carlsbad	- Municipal/domestic - Public/private	50 million gpd/ 55,000 AF/yr.	Planning
U.S. Navy / San Diego	- Municipal/domestic - Government	700,000 gpd/ 780 AF/yr.	Not known
West Basin Municipal Water District	- Municipal/domestic - Public	20 million gpd/ 22,000 AF/yr.	Planning
Total Proposed Production:	~ 240 million gallons per day / 260,000 AF/yr.		

SEAWATER DESALINATION AND THE CALIFORNIA COASTAL ACT
– MARCH 2004 –

1.5 OTHER STATE, FEDERAL, AND LOCAL DESALINATION INITIATIVES

There are a number of efforts currently underway in California to study, promote, or anticipate the need for additional water supplies using desalination or other methods. Some of the main ones are listed below.

STATE

California Department of Water Resources (DWR): DWR is one of the lead agencies in the state for developing and allocating water resources. Its current work includes the following:

- ***Update of the California Water Plan for 2003:*** The draft Plan identifies the need for the state to have a balanced and integrated water portfolio and includes seawater desalination as one of over twenty sources for the state's water supply (along with surface flows, reclaimed water, groundwater, etc.). The Plan considers it moderately likely that seawater desalination could provide up to 200,000 acre-feet per year of the state's water demand by 2030.
- ***Desalination Task Force (per Assembly Bill 2717):*** This task force was charged with identifying the opportunities and constraints for desalination in providing some of the state's water supply, and to examine whether the state should play a role in furthering the use of desalination. In October 2003, the Task Force completed its work and published its findings and recommendations (see <http://www.owue.water.ca.gov/recycle/desal/desal.cfm>). Selected findings and recommendations have been incorporated into relevant sections of this report. As a follow-up to the work of the Task Force, DWR will continue to coordinate much of the desalination research and information available at the state level.

California Energy Commission:

- ***Review of entrainment studies:*** The CEC is compiling information about existing studies that have been used to evaluate the effects of coastal power plants on marine organisms. The compilation is meant in part to identify the adequacy and applicability of these studies to current environmental conditions near the plants, and to identify where updated studies are needed. Many of the report's findings will likely be applicable to desalination facilities proposing to co-locate at coastal power plants.
- ***Energy demand:*** Energy Commission staff is compiling data to help determine how the energy demand of proposed desalination facilities will affect the state's power grid.

FEDERAL

Bureau of Reclamation: The Bureau has several research initiatives underway. It is working with Sandia National Laboratories on a Desalination and Water Purification Technology Roadmap, primarily to identify and prioritize areas where technological efficiencies in desalination might be most effective. It is also coordinating several of the desalination research initiatives under "Water 2025", a federal program meant to manage water resources in the Western U.S. The Bureau is also working with the City of Long Beach Water Department to

SEAWATER DESALINATION AND THE CALIFORNIA COASTAL ACT
– MARCH 2004 –

develop a nanofiltration desalination technology which is anticipated to be much more energy-efficient than other types of reverse-osmosis membrane technology. The two agencies are developing a pilot project to test various techniques and types of equipment. The project would be located at the Haynes Generating Station in Long Beach.

Monterey Bay National Marine Sanctuary: The Sanctuary is updating its Management Plan and will consider including recommendations about desalination facilities that may be proposed within Sanctuary boundaries. The recommendations were developed by a desalination workgroup representing a number of interests and stakeholders in the Monterey Bay area, were evaluated by both the Sanctuary Advisory Group and the public during review of the Draft Management Plan during the summer and fall of 2003, and will be considered for adoption as part of the final Management Plan sometime in 2004. The workgroup's recommendations include the following:

- Develop a regional planning program for desalination.
- Develop facility siting guidelines, including identifying preferred conditions and habitats, areas that should be avoided, etc.
- Define standards for entrainment and impingement caused by desalination facilities and limits for brine discharges to Sanctuary waters.
- Determine which water quality models are suitable for determining discharge plumes for desalination outfalls.
- Identify the minimum required information for permit applications.
- Develop a regional monitoring program to determine cumulative impacts of multiple desalination facilities.
- Develop an education and outreach program for desalination issues.
- Track and evaluate emerging desalination activity and technology and outside the Sanctuary.

Several of these recommendations have been incorporated into applicable sections of this report.

LOCAL AND REGIONAL

A number of local or regional water districts are also considering desalination programs to provide a portion of their water supplies. Although desalination is still more expensive than existing supplies, there is a growing interest by water supply agencies to diversify their water sources and to decrease their reliance on imported water. Major efforts include:

- **Metropolitan Water District (MWD) of Southern California:** MWD is considering proposals to build and operate coastal desalination facilities within its Southern California service area. To further this goal, MWD has offered to subsidize desalination production at the rate of \$250 per acre-foot for up to 25 years. At this time, five of the proposals shown in Table 2 are being considered:
 - o Long Beach Water Department
 - o Los Angeles Department of Water and Power
 - o Municipal Water District of Orange County
 - o San Diego County Water Authority/Poseidon Resources
 - o West Basin Municipal Water District

SEAWATER DESALINATION AND THE CALIFORNIA COASTAL ACT
– MARCH 2004 –

The purposes of this program include reducing Southern California's dependence on imported water supplies, enhancing the portfolio of supplies available to the area, and providing an incentive to develop desalination as an additional water source in Southern California.

- **Long Beach Water Department (LBWD):** The Department recently started construction of a desalination test facility that will evaluate several desalination techniques, including one patented by the Department that may provide greater efficiencies and lower energy use.
- **San Diego County Water Authority (SDCWA):** The SDCWA recently circulated a Draft EIR for its Regional Water Facilities Master Plan that identified development of large-scale desalination facilities (up to 100,000 acre-feet per year) as its preferred alternative to provide for regional growth through 2030.

SEAWATER DESALINATION AND THE CALIFORNIA COASTAL ACT
– MARCH 2004 –

[this page intentionally blank]

CHAPTER 2: ELEMENTS OF COASTAL ACT REVIEW

Chapter Sections:

2.1 About the California Coastal Act

2.2 Key Coastal Act Terms (Feasibility, Alternatives, Mitigation, “Coastal-Dependent”, and “Coastal-Related”)

Most, if not all, seawater desalination facilities will require review for conformity to the Coastal Act due to their proposed use of seawater and their location on or near the coast. This chapter provides an overview of the Coastal Act and some of the key aspects of the Act that will likely apply to proposed desalination facilities during these reviews. It summarizes some of the Act’s history and goals, its jurisdictional boundaries, and some key terms used in Coastal Act review, including “feasibility”, “alternatives analysis”, “mitigation”, and “coastal-dependency”. More information about each of these issues is available at the Coastal Commission’s web site, at: www.coastal.ca.gov.

2.1 ABOUT THE CALIFORNIA COASTAL ACT

In 1976, the state Legislature enacted the California Coastal Act to provide long-term protection of the state’s coastline. The Act grew out of a 1972 citizens’ initiative (Proposition 20) passed to ensure protection of the California coast. The Act includes a number of policies related to:

- Protection and expansion of public access to the shoreline;
- Protection, enhancement, and restoration of important habitats and biological communities;
- Protection of areas of the coast used for priority purposes, such as coastal recreation, coastal agriculture, and others;
- Preventing sprawl;
- Providing public education about the coast and coastal issues; and,
- Establishing local controls for coastal development.

The Coastal Act is implemented through a combination of state and local jurisdictions within the state’s Coastal Zone.

COASTAL ZONE

The Coastal Act applies within the state’s Coastal Zone, which encompasses an area along the state’s entire 1100-mile coastline, starting three miles offshore and extending inland at distances ranging from several blocks to about five miles from the ocean¹. Additionally, the Coastal Commission has jurisdiction in matters requiring federal permits or approvals in the federal waters beyond the three-mile boundary of state waters.

¹ **Note:** The Coastal Commission’s jurisdiction does not extend into San Francisco Bay. Areas in and around the Bay inside the Golden Gate are under the jurisdiction of the San Francisco Bay Conservation and Development Commission.

SEAWATER DESALINATION AND THE CALIFORNIA COASTAL ACT

– MARCH 2004 –

COASTAL COMMISSION

The Coastal Commission consists of twelve voting members, with four each appointed by the Governor, the head of the Senate Rules Committee, and the Speaker of the Assembly, and four non-voting members (the Secretaries of the Resources Agency and the Business and Transportation and Housing Agency, the Chair of the State Lands Commission, and the Director of the Trade and Commerce Agency). As explained below, the Commission has permit authority in those parts of the Coastal Zone without a certified Local Coastal Program, and has the ability to review and determine appeals of some local decisions.

LOCAL COASTAL PROGRAMS

Local Coastal Programs (LCPs), when adopted by local governments and certified by the Commission establish development controls for areas of local jurisdictions within the coastal zone. The Coastal Commission retains its permit jurisdiction, however, in coastal waters and tidelands and for certain types of facilities, including major public works projects. The Commission also hears appeals of local decisions in areas of an LCP designated as within the Commission's appeal jurisdiction.

PERMITS AND APPROVALS

The Coastal Act requires that many development activities and uses within the Coastal Zone obtain a permit. The types of development requiring a permit are defined in Coastal Act Section 30106:

"Development" means, on land, in or under water, the placement or erection of any solid material or structure; discharge or disposal of any dredged material or of any gaseous, liquid, solid, or thermal waste; grading, removing, dredging, mining, or extraction of any materials; change in the density or intensity of use of land, including, but not limited to, subdivision pursuant to the Subdivision Map Act (commencing with Section 66410 of the Government Code), and any other division of land, including lot splits, except where the land division is brought about in connection with the purchase of such land by a public agency for public recreational use; change in the intensity of use of water, or of access thereto; construction, reconstruction, demolition, or alteration of the size of any structure, including any facility of any private, public, or municipal utility; and the removal or harvesting of major vegetation other than for agricultural purposes, kelp harvesting, and timber operations which are in accordance with a timber harvesting plan submitted pursuant to the provisions of the Z'berg-Nejedly Forest Practice Act of 1973 (commencing with Section 4511).

As used in this section, "structure" includes, but is not limited to, any building, road, pipe, flume, conduit, siphon, aqueduct, telephone line, and electrical power transmission and distribution line.

COASTAL DEVELOPMENT PERMIT PROCESS

Reviewing a proposed project for conformity to Coastal Act requirements may encompass a wide range of issues, depending on the type of proposal, its location, and its potential to affect coastal resources. A permit review commonly addresses issues such as public access, environmental effects, priority coastal uses, visual resources, and others.

2.2 KEY COASTAL ACT TERMS

This section of the report describes several key terms used in the Coastal Act that will likely apply during review of a proposed desalination facility. How these terms are applied could determine whether a proposal is approved and how it might be sited, designed, or operated. This section first discusses three general terms – “feasibility”, “alternatives” and “mitigation” – and how they may be used in Coastal Act review. The report next describes two terms specific to the Coastal Act – “coastal-dependency” and “coastal-related”, and how they may affect the review of proposed desalination facilities.

2.2.1 “FEASIBILITY”, “ALTERNATIVES”, AND “MITIGATION”

Main Point:

- ***Many Coastal Act policies applicable to desalination facilities require incorporating feasible alternatives and mitigation measures into project design and operation.***

The three terms above are important in determining the extent of review under the Coastal Act. A key element in many decisions for proposed projects requiring Coastal Act permits is how well the design and siting incorporate considerations of feasibility, alternatives, and mitigation into the proposal.

FEASIBILITY

“Feasible” is defined in both the Coastal Act (at Section 30108) and in CEQA as “capable of being accomplished in a successful manner within a reasonable period of time, taking into account economic, environmental, social, and technological factors”. The Coastal Act includes two main uses of “feasibility” – first, as it relates to project alternatives, and next, as it relates to mitigation measures. Primary examples include:

From Section 30230 (Marine Resources): “*Marine resources shall be maintained, enhanced, and where feasible, restored*”.

From Section 30231 (Biological Productivity and Water Quality): “*The biological productivity and the quality of coastal waters, streams, wetlands, estuaries, and lakes appropriate to maintain optimum populations of marine organisms and for the protection of human health shall be maintained and, where feasible, restored...*”

SEAWATER DESALINATION AND THE CALIFORNIA COASTAL ACT

– MARCH 2004 –

From Section 30233(a) (Diking, Filling, or Dredging): “The diking, filling, or dredging of open coastal waters, wetlands, estuaries, and lakes shall be permitted in accordance with other applicable provisions of this division, where there is no feasible less environmentally damaging alternative, and where feasible mitigation measures have been provided to minimize adverse environmental effects...”

From Section 30251 (Scenic and Visual Resources): “Permitted development shall be sited and designed to protect views to and along the ocean and scenic coastal areas, to minimize the alteration of natural land forms, to be visually compatible with the character of surrounding areas, and, where feasible, to restore and enhance visual quality in visually degraded areas.”

From Section 30260 (Coastal-dependent Industrial Facilities): “...where new or expanded coastal-dependent industrial facilities cannot feasibly be accommodated consistent with other policies of this division, they may nonetheless be permitted... if (1) alternative locations are infeasible or more environmentally damaging; (2) to do otherwise would adversely affect the public welfare; and (3) adverse environmental effects are mitigated to the maximum extent feasible.”

From Section 30235 (Shoreline Construction): “Existing marine structures causing water stagnation contributing to pollution problems and fish kills should be phased out or upgraded where feasible”.

It is also included as part of one of the Act’s goals, in Section 30001.5: to “protect, maintain, and where feasible, enhance and restore the overall quality of the coastal zone environment and its natural and artificial resources”.

Coastal Act review may consider at least four distinct feasibility factors, each of which can be addressed separately, but which also must be brought together when determining whether a proposed alternative or mitigation measure is feasible. The four aspects are:

- **Environmental factors:** refers to selecting mitigation measures that can successfully respond to the environmental impact being addressed, that have a strong likelihood of success, and that do not cause other undesirable environmental impacts.
- **Technological factors:** refers to the engineering and operational ability to implement an alternative or mitigation measure. For desalination, an example may be to consider treating water using ultraviolet light rather than chemicals. The end result may be the same – water treated to a desirable level – but the method using ultraviolet light would result in fewer environmental impacts. This aspect of feasibility may also be applied when considering combined benefits – for example, a facility near the ocean may be required to put up screens or panels to reduce its visual impacts, and those panels may also result in lower maintenance costs at the facility due to reduced exposure to salt spray or wind.

SEAWATER DESALINATION AND THE CALIFORNIA COASTAL ACT
– MARCH 2004 –

- **Social factors:** refers primarily to the public’s acceptance or non-acceptance of certain measures. An example of social feasibility related to desalination is the potential to desalinate treated wastewater instead of seawater. While this alternative is feasible in many ways – it can be done technologically, it is less expensive than desalting seawater, and it may result in fewer environmental impacts due to discharging the waste in the ocean – it is also viewed by many members of the public as less desirable. Part of the consideration in reviewing social feasibility may be to determine what effort it would take to have some measures could gain public acceptance.

- **Economic factors:** generally includes determining the environmental impacts of a proposal along with the economic costs of mitigating those impacts through alternatives, avoidance, minimization, or other means. The review may also compare the mitigation costs with the overall project costs to determine whether mitigation costs represent a reasonable proportion of the project costs. Two aspects of desalination – its relatively high capital and operating costs, and its potential to cause significant adverse environmental impacts – could make extensive mitigation measures both necessary and feasible. For example, a project with significant environmental impacts and capital costs of \$200 million would spend only five percent of that amount to produce \$10 million worth of mitigation measures. In some cases, economic feasibility may also include determining the opportunity costs gained or lost by using a coastal site for one activity rather than another. This is generally an element of the Coastal Act policies related to priority uses, but may also be included in feasibility in some instances. Economic factors may also come into play in combination with the others – for example, in determining that it is both technically and economically feasible to use a less hazardous membrane cleaning method at a facility. [See also Chapter 3.2 for more detailed discussion of how costs may be incorporated into Coastal Act review.]

ALTERNATIVES AND MITIGATION

Coastal Act review generally evaluates a proposed project to determine whether there are alternative versions of the project that may be less environmentally harmful. Not only are alternatives and mitigation measures required to be feasible, but for some Coastal Act policies, all feasible alternatives and mitigation measures must be implemented². Review of a desalination proposal, therefore, will likely require an alternatives analysis to identify whether there are other feasible alternatives that better conform to Coastal Act requirements, and an assessment of mitigation measures available to avoid or reduce its impacts.

² Mitigation measures are generally considered in sequence based on their effectiveness in avoiding or alleviating an impact. The “mitigation sequence”, as defined in CEQA Section 15370, consists of:

- (a) Avoiding the impact altogether by not taking a certain action or parts of an action.
- (b) Minimizing impacts by limiting the degree or magnitude of the action and its implementation.
- (c) Rectifying the impact by repairing, rehabilitating, or restoring the impacted environment.
- (d) Reducing or eliminating the impact over time by preservation and maintenance operations during the life of the action.
- (e) Compensating for the impact by replacing or providing substitute resources or environments.

For purposes of this report, the term “minimize” is defined as “to reduce to the smallest possible level.”

SEAWATER DESALINATION AND THE CALIFORNIA COASTAL ACT
– MARCH 2004 –

Some examples of possible alternatives and mitigation measures to be considered include:

- **Conservation:** This could include incentive-based or voluntary measures, ranging from urging landowners to use drought-resistant native plants to regulatory requirements, such as requiring new developments to use only low-flow water fixtures. Many conservation measures provide a dual advantage, in that not only are they effective in reducing water demand but often cheaper than providing additional water. A November 2003 report by the Pacific Institute states that California could increase its urban water supplies by 85% by using available and cost-effective measures, such as installing low-flow fixtures, timers, and other devices³. Many California communities have already implemented these measures, and are part of a comprehensive local or regional strategy to reduce water demand. The state Desalination Task Force recognized this when it included as one of its recommendations:

Include desalination, where economically and environmentally appropriate, as an element of a balanced water supply portfolio, which also includes conservation and water recycling to the maximum extent practicable.

- **Using reclaimed or recycled water:** This will likely depend on the availability of nearby sources, the infrastructure needs to make these sources available to end users, the degree of certainty that those sources will be available when needed, and other similar factors.
- **Reallocating existing supplies:** This could include a number of approaches, such as retiring existing water rights or assigning those rights to be used for various conservation purposes (e.g., fish flows, instream values, etc.).
- **Market-based measures:** This could include measures such as trading water rights, using a rate structure that charges different amounts for different sources of water or for water use during different times of day.

Additional alternatives and mitigation measures are discussed in other sections of this report as they apply to particular topics.

WHAT'S LIKELY NEEDED DURING REVIEW?

Evaluation of alternatives and mitigation measures considered and how those were determined to be feasible or infeasible: As part of a desalination permit application, an applicant should be prepared to describe and evaluate the existing conservation measures being implemented in a proposed service area, whether there are comprehensive conservation plans or water use reduction plans in place, the effectiveness of such measures to reduce overall water consumption, and additional feasible measures that could reduce impacts associated with a constructing or operating a desalination facility. In many areas, this will likely require tying the proposed desalination facility to adopted local or regional water management plans, growth projections, local coastal programs, and other planning documents.

³ Gleick, Dr. Peter, Waste Not, Want Not: The Potential for Urban Water Conservation in California, November 2003.

SEAWATER DESALINATION AND THE CALIFORNIA COASTAL ACT
– MARCH 2004 –

The application will also likely need to describe what considerations were used to determine whether particular designs, locations, and mitigation measures were determined to be feasible or infeasible. The most documentation should probably be provided for those aspects of a proposed project that would have the greatest effect on avoiding or reducing adverse impacts.

2.2.2 “COASTAL-DEPENDENT” AND “COASTAL-RELATED”

Main Points:

- *The Coastal Act allows many types of development in the coastal zone, and recognizes that some uses are “coastal-dependent” in that they require a site on or immediately adjacent to the ocean. The Act also defines “coastal-related” uses as being those that depend on “coastal-dependent” uses.*
- *Desalination, in and of itself, is not “coastal-dependent”.*
- *While desalination processing facilities are not likely to be considered “coastal-dependent”, their associated pipelines may be. If the pipelines for a desalination facility using seawater are considered “coastal-dependent”, the associated processing facility would be considered “coastal-related”.*

The Coastal Act includes policies that acknowledge the limited amount of coastal land in California, the need for certain activities to be located on the coast, and the public’s interest in having land available for those activities and uses. One of the primary determinations to be made during review of many projects proposed to be sited in or next to the ocean is whether they are “coastal-dependent” or “coastal-related”. Section 30101 of the Coastal Act defines a “coastal-dependent development or use” as “any development or use which requires a site on, or adjacent to, the sea to be able to function at all,” and Section 30001.2 further describes “coastal-dependent” developments as including “ports and commercial fishing facilities, offshore petroleum and gas development, and liquefied natural gas facilities”⁴. Section 30101.3 of the Act defines a “coastal-related development” as “any use that is dependent on a coastal-dependent development or use”.

The issue of “coastal-dependency” is not a concern within the entire width of the coastal zone, only for those developments proposing to locate on or immediately adjacent to the ocean. The issue of “coastal-dependency” is generally not an issue for projects proposed to be located at some distance inland from the ocean but still within the Coastal Zone – for example, on the landward side of a coastal highway or on a parcel not bordering coastal waters.

⁴ This section further distinguishes between “coastal-dependent” facilities and other facilities such as electrical generating facilities and refineries, which it recognizes may be necessary to locate in the Coastal Zone, although not necessarily on or adjacent to the ocean.

SEAWATER DESALINATION AND THE CALIFORNIA COASTAL ACT
– MARCH 2004 –

IS DESALINATION “COASTAL-DEPENDENT”?

While a facility dependent on seawater may, at first glance, appear to fit this definition, desalination, in and of itself, is not necessarily a coastal-dependent development or use. Many desalination facilities are located at inland locations where the source water is brackish water, groundwater, reclaimed water, or similar sources other than seawater. Similarly, providing a water supply is not necessarily a coastal-dependent use, as most potable water is provided from sources other than seawater. Even for facilities using seawater, the actual processing of that water does not depend on being in or adjacent to the ocean.

While a desalination facility itself might not be coastal-dependent, the pipelines for getting seawater to and from the facility may be. The desalination processing facility may only need to be located close enough to the water to feasibly pump the source water inland from the shoreline. For many proposals, this may require no more than being located across the street from the ocean rather than right on the ocean.

In some cases, the pipelines, too, might be found to not be “coastal-dependent” – if, for example, the facility can get its source water from wells located near, but not directly on the shoreline rather than from open intakes in the ocean.

Example of a development considered partially “coastal-dependent” and partially “coastal-related”: In a decision on the Las Flores Canyon oil and gas processing facility in Santa Barbara County, the Commission found that the pipelines providing oil and gas from offshore oil platforms were considered “coastal-dependent”, but that the facility used to process the oil and gas was not “coastal-dependent”. However, because the processing facility was dependent on the use of those “coastal-dependent” pipelines, it was considered “coastal-related”. This allowed project elements needing to be sited on or adjacent to the water to be sited there and resulted in other parts of the development being located some distance away from the shore.

The Commission has made similar determinations in several instances that aquaculture dependent on seawater is not necessarily “coastal-dependent”, since it, too, can be located at some distance inland from the shoreline, although the water supply lines may be considered “coastal-dependent.”

WHY IS “COASTAL-DEPENDENCY”IMPORTANT?

Whether all or part of a proposal is “coastal-dependent” is important in several ways:

- **Priority uses:** Recognizing the limited amount of coastal land in the state, the Coastal Act includes several policies that prioritize coastal-dependent development for coastal areas. Section 30255, for example, states that coastal-dependent development has priority over other development on or near the shoreline and that it should be within reasonable proximity of the coastal-dependent uses it supports. [These priority uses are discussed further in Chapter 4.3.2.]

SEAWATER DESALINATION AND THE CALIFORNIA COASTAL ACT
– MARCH 2004 –

- **Placing fill:** To place fill in coastal waters, a proposed development must fall within one of the eight categories listed under Coastal Act section 30233(a)⁵. Just one of these eight categories (Category 1 – port, energy, and coastal-dependent industrial facilities) is likely to apply to desalination, but only for the parts of the facility that have been determined to be coastal-dependent (e.g., the intake and outfall pipelines). Further, the fill allowed under this policy is subject to two additional measures – there must be no feasible less environmentally damaging alternative, and feasible mitigation measures must minimize adverse environmental effects.

Unless designed and operated to avoid impacts, seawater intakes and outfalls are likely to cause adverse effects to coastal resources, primarily due to “entraining” marine organisms (see Chapter 5.1.1 of this report) and due to the highly saline discharge back to the ocean (see Chapter 5.1.2.). Therefore, the review for proposed pipelines considered “coastal-dependent” will need to determine whether there are feasible alternatives, including other locations, water sources, or methods such as beach wells, infiltration galleries or other types of subsurface intakes or outfalls, as well as existing intakes and outfalls, that are less environmentally damaging.

⁵ Section 30233(a): The diking, filling, or dredging of open coastal waters, wetlands, estuaries, and lakes shall be permitted in accordance with other applicable provisions of this division, where there is no feasible less environmentally damaging alternative, and where feasible mitigation measures have been provided to minimize adverse environmental effects, and shall be limited to the following:

- (1) New or expanded port, energy, and coastal-dependent industrial facilities, including commercial fishing facilities.
- (2) Maintaining existing, or restoring previously dredged, depths in existing navigational channels, turning basins, vessel berthing and mooring areas, and boat launching ramps.
- (3) In wetland areas only, entrance channels for new or expanded boating facilities; and in a degraded wetland, identified by the Department of Fish and Game pursuant to subdivision (b) of Section 30411, for boating facilities if, in conjunction with such boating facilities, a substantial portion of the degraded wetland is restored and maintained as a biologically productive wetland. The size of the wetland area used for boating facilities, including berthing space, turning basins, necessary navigation channels, and any necessary support service facilities, shall not exceed 25 percent of the degraded wetland.
- (4) In open coastal waters, other than wetlands, including streams, estuaries, and lakes, new or expanded boating facilities and the placement of structural pilings for public recreational piers that provide public access and recreational opportunities.
- (5) Incidental public service purposes, including but not limited to, burying cables and pipes or inspection of piers and maintenance of existing intake and outfall lines.
- (6) Mineral extraction, including sand for restoring beaches, except in environmentally sensitive areas.
- (7) Restoration purposes.
- (8) Nature study, aquaculture, or similar resource dependent activities.

Note: Category 5 of this policy, which includes “incidental public services” has generally been interpreted by the Commission to include only temporary impacts, such as construction- or maintenance-related activities. The Commission has generally not interpreted this section to allow ongoing impacts that might be associated with an open intake, such as entrainment or impingement of marine species.

SEAWATER DESALINATION AND THE CALIFORNIA COASTAL ACT

– MARCH 2004 –

- Proposals that don't fully meet applicable Coastal Act policies: Section 30260 of the Act recognizes that some facilities that are “coastal-dependent” might not conform to all applicable policies of the Coastal Act:

Coastal-dependent industrial facilities shall be encouraged to locate or expand within existing sites and shall be permitted reasonable long-term growth where consistent with this division. However, where new or expanded coastal-dependent industrial facilities cannot feasibly be accommodated consistent with other policies of this division, they may nonetheless be permitted in accordance with this section and Sections 30261 and 30262 if (1) alternative locations are infeasible or more environmentally damaging; (2) to do otherwise would adversely affect the public welfare; and (3) adverse environmental effects are mitigated to the maximum extent feasible.

This section, therefore, provides that coastal-dependent industrial facilities not consistent with other applicable policies of the Coastal Act may be permitted if the Commission finds that they meet a three-part test:

- o Are alternative locations infeasible or more environmentally damaging?;
- o Would doing otherwise adversely affect the public welfare?; and,
- o Are adverse environmental effects mitigated to the maximum extent feasible?

Similar to the tests described above in Section 30233(a) for proposals involving placing fill, the review of desalination facilities or pipelines considered “coastal-dependent” will need to evaluate whether there are other feasible or less environmentally damaging locations and determine what measures are needed to mitigate adverse environmental effects to the maximum extent feasible. Again, this review is likely to include an evaluation of whether the facility can be located and operated to avoid entraining and impinging marine organisms and whether the outfall can be designed to avoid or minimize harmful discharges to the ocean.

CHAPTER 3: TECHNICAL AND ECONOMIC ASPECTS OF DESALINATION

Chapter Sections:

3.1 Desalination Methods and Processes

3.2 Desalination Economics and Energy Use

Desalination refers to any of several methods that remove dissolved salts and other chemicals from water. Desalination is most well known as a way to treat seawater to provide drinking water, but it is also used to treat sources of water other than seawater, including brackish groundwater, recycled or reclaimed wastewater, agricultural runoff water, and others⁶. It can provide different levels of treatment to allow a source water to be used for drinking, industrial processes, agricultural uses, or other uses that may allow for a particular concentration of dissolved solids and other materials in the water.

The desalination process generally involves drawing in source water (e.g., brackish or salt water) and separating it into two streams – a stream of desalted water that contains a minimal concentration of dissolved salts and minerals (the product water), and a stream of liquid containing the residual dissolved solids, including salts and other minerals and compounds. Depending on which desalination method is used, every 100 gallons of seawater can produce 15 to 50 gallons of potable water and discharge 50 to 85 gallons of effluent containing higher concentrations of the removed solids⁷.

3.1 DESALINATION METHODS AND PROCESSES

There are a number of desalination methods, including reverse osmosis, distillation, electrodialysis, and vacuum freezing. Reverse osmosis and distillation represent the predominant technologies currently being used around the world, and those are the two methods briefly described below. Most of the facilities being proposed along the California coast would use reverse osmosis methods, and this report focuses, for the most part, on that method.

DISTILLATION

This process requires the intake water to be heated to produce a vapor, which is then condensed to produce water with a low concentration of dissolved salt and other minerals. This method essentially mimics the hydrological cycle that occurs in nature. The most common methods of distillation include multistage flash (MSF), multiple effect distillation (MED), and vapor compression. Distillation plants generally require less pretreatment of feedwater than is

⁶ “Brackish” water has a salt content of 5 to 20 parts per thousand (ppt), while seawater has salt content of over 20 ppt. The salt content of seawater along the California coast averages from about 32 to 34 ppt.

⁷ In this report, the concentrated solution of salts and other constituents remaining after potable water is extracted from seawater is referred to as “desalination discharge”. Other documents refer to it as “brine”, “desalination concentrate”, “seawater concentrate” “effluent”, etc. For some facilities, the discharge may be only brine – which is defined as water with a high concentration of salts; in others, the discharge may contain concentrations of materials other than salt.

SEAWATER DESALINATION AND THE CALIFORNIA COASTAL ACT
– MARCH 2004 –

necessary in reverse osmosis, and they can generally use feedwater of lower quality. Distillation plants also do not need to shut down production for cleaning or replacement of equipment as often as reverse osmosis plants, and they do not generate waste from backwash of pretreatment filters. The most significant disadvantage of distillation is that it is extremely energy intensive, which typically limits its use to areas where energy costs are not as critical an issue. These facilities have most commonly been used in the Middle East. Scaling and corrosion of distillation plants are the major maintenance concerns, due to the exposure of the unprotected evaporator components to corrosive feedwater.

REVERSE OSMOSIS

This process involves pumping feedwater at high pressure through semi-permeable membranes to separate salt and other minerals from the water. The pores in the membrane are large enough to allow water molecules to pass through, yet are too small to allow the passage of salt and other minerals. Reverse osmosis facilities generally involves four separate processes: pretreatment, pressurization, membrane separation, and post-treatment stabilization. Both physical and chemical pretreatment can be used to remove suspended particles from the source water to keep the membrane surfaces clean and to treat the water to prevent growth of microbes on the membranes. The feedwater is then pressurized to about 800-1000 pounds per square inch (psi), a process that results in most of the energy demand for the reverse osmosis desalination method. The pressurized feedwater is then forced through the reverse osmosis membrane. Product water quality is sometimes improved by passing the water through a second set of membranes. Once the feed water is separated into two streams, the product water is treated to meet drinking water requirements, and then to the water distribution or storage system. Many reverse osmosis facilities are built using modular components that allow production to be expanded relatively easily. Many are built with multiple treatment “trains” that allows for some, but not all, production to be curtailed during cleaning or maintenance or during times of less demand. Some facilities include systems that separate most of the suspended solids and treatment chemicals from the waste stream so they can be sent separately to a wastewater treatment facility or dewatered and shipped to a landfill.

Reverse osmosis has several advantages over distillation, including:

- Less energy required;
- Its discharge has lower thermal impacts since the feedwater does not have to be heated;
- Fewer corrosion problems;
- Higher recovery rates – up to about 50% for seawater; and,
- Less surface area than distillation plants for the same amount of water production.

Reverse osmosis also has several disadvantages:

- It is generally more sensitive to poor water quality, resulting in the need to shut down facilities during severe storms or periods of high runoff when there are increased amounts of suspended particulates in the feedwater.
- It usually requires more frequent cleaning and maintenance, often using various chemicals and cleaning agents, and often requiring full or partial shutdowns during cleaning.

SEAWATER DESALINATION AND THE CALIFORNIA COASTAL ACT

– MARCH 2004 –

- The membranes are sensitive to fouling due to bacterial contamination or other causes, which may require more frequent replacement and result in higher costs.
- It requires more extensive pretreatment, often with the use of biocides, coagulants, and other compounds.
- The process and its use of cleaning agents generate wastes that may include toxic chemicals, metals, and other constituents that are either discharged to surface waters or are separated and sent to a wastewater treatment facility or landfill.

3.2 DESALINATION ECONOMICS AND ENERGY USE

Main Points:

- *It is difficult to determine the full range of costs and benefits of any water supply, including desalination.*
- *For water purveyors, one advantage to coastal desalination facilities is that, from an economic standpoint, seawater is considered free.*
- *Energy costs are the most expensive part of the desalination process.*
- *Desalination remains more expensive than other water sources, but its higher price is seen by some as a premium paid for a local and more reliable water supply.*
- *Coastal Act review includes consideration of a proposed development's energy consumption and requires energy use to be minimized.*
- *Coastal Act review includes consideration of costs associated with a project to assess feasible alternatives and mitigation measures.*

INTRODUCTION

It is difficult to determine the full economic cost of any source of water. Providing water supplies generally require both relatively direct and easily determined economic outlays – such as the capital cost to construct treatment plants and pipelines, the costs of operating and maintaining a water supply system, and the cost of electricity needed to pump water from one location to another – as well as indirect and non-monetary costs that are usually more difficult to determine – such as the environmental costs associated with lost streamflow or reduced watershed health caused by exporting water out of an area (e.g., fewer fish, smaller wetlands), societal costs (e.g., fewer recreational opportunities, decreased tourism), the costs of centralized infrastructure instead of dispersed systems, and others. These indirect costs may result in more significant economic, social, political, and environmental effects than the direct economic costs.

Adding to the difficulty of determining the overall costs of a water supply is that those costs are often countered by indirect or non-economic benefits – for instance, moving water from a stream to a distant reservoir may result in the loss of recreational opportunities in one location that are offset by increased recreational opportunities in another. Moving water from an area with a smaller population and lower economic demand into an area with a larger population and larger existing economic infrastructure may create more extensive economic benefits related to increased development. Another difficulty in determining costs is that these indirect economic considerations may or may not be evaluated as part of any particular water system depending on the level of public oversight, public interest and review, the perceived values of the affected resources, and other factors.

WHAT INFLUENCES DESALINATION COSTS?

Given the caveats above, some of the primary variables that determine costs for desalinated water are described below, along with some general comparisons between the costs of desalination and the costs of other water supplies. Many costs, such as those associated with storing or transporting water, are common to almost all water sources.

- **Energy use and costs:** Review under the Coastal Act includes consideration of a proposed development's energy consumption. Section 30253 of the Act requires, in part, that energy consumption of new development be minimized.

Energy represents the single largest direct cost in producing desalinated water. Advances in desalination technology over the last ten years have significantly reduced the amount of energy needed to produce a given amount of water; however, energy continues to represent about one-third to one-half of the cost of desalination. As a result, desalination costs are relatively sensitive to the cost of energy – it is estimated that each one-cent difference in the price per kilowatt-hour of electricity causes about a fifty-dollar difference in the cost to produce an acre-foot of desalinated water. For example, water produced by desalination at a cost of \$800 per acre-foot with electric rates at \$0.05 per kilowatt-hour would cost \$1050 per acre-foot if the electricity instead cost \$0.10 per kilowatt-hour.

Ocean water is generally more expensive to desalt than brackish water due to its higher concentration of dissolved solids. Brackish water, with salinity ranging from about 5 to 20 parts per thousand, generally requires less energy to desalt than ocean water, which has salinity levels greater than 20 parts per thousand.

Along with the energy costs to produce the water, desalination also requires energy to transport water to its end users. This is a cost common to nearly all water sources, as water is a relatively heavy commodity and energy costs to lift water uphill or to pump it long distances can be the single largest expense for many water systems. Because seawater desalination facilities located along the coast will generally be located at the lowest elevation of a water service area, they could have significant “lifting” and distribution costs to get the water to the end users.

- **Water source:** There are two main cost components related to the source of water – the initial cost of the water, and the level of treatment needed to produce water of a desired quality. Regarding the initial costs, from the predominant economic standpoint, one of the primary benefits of seawater as a source of potable water is that it generally has a direct monetary price of zero. Seawater is seen as inexhaustible and noninterruptible, and therefore not subject to price variations due to scarcity or supply and demand. If a proposed desalination facility is co-located with a facility using an existing seawater supply, such as a power plant that uses ocean water for cooling, there may be additional cost savings by not having to site, design, and construct new intake and outfall systems needed to use seawater as the source water. [Note: advantages and disadvantages of co-location are discussed in more detail in Chapter 5.1.3.] Sources of water other than seawater, such as agricultural water transfers, reclaimed, or recycled water, may have to be purchased from suppliers and may be subject to supply variability. However, these sources are often easier and less expensive to

SEAWATER DESALINATION AND THE CALIFORNIA COASTAL ACT
– MARCH 2004 –

treat to drinking water standards, because of their lower levels of dissolved solids. One of the primary issues related to many of these sources is the public perception that a particular source, such as treated wastewater, is unsuitable as drinking water, despite the ability of a properly operating desalination system to remove the harmful components in that water.

Regarding the costs associated with treatment, the general relationship is that the better the source water quality, the less expensive it is to treat. This is similar to brackish water requiring less energy to treat than seawater – the fewer contaminants, such as various chemicals or organisms (e.g., algal blooms), the less pre-treatment or treatment required, and thus lower costs. Some of these costs may be reflected in either the frequency of cleaning or maintenance required due to contaminants in the source water – for example, reverse osmosis membranes generally operate less effectively when there are high levels of dissolved solids, so such systems often need pre-treatment through sand filters or other types of filters before the water reaches the final reverse osmosis membranes. This situation can also increase the long-term maintenance requirements at a facility if the membranes need to be replaced more often due to water quality issues.

- **Desalination method:** Of the two primary desalination methods, distillation generally has higher energy costs than reverse osmosis because of the need to heat the source water. The cost differential between the two methods can be reduced somewhat if the source water is pre-heated or if it derives waste heat from another process, such as discharged cooling water from a coastal power plant, which may be 20° C. above ambient ocean water temperature.
- **Scale and capacity of facility:** Some desalination facilities are likely to benefit from economies of scale, although this is likely to depend on the particular characteristics, location, and capacity of a given facility.
- **Infrastructure:** A desalination facility must be able to either connect to an existing distribution system or construct new pipelines or a distribution system to get water to the end users. This cost will vary by location, size of the service area, and other factors. This may be a significant cost in much of coastal California, where most water delivery systems were engineered to move water from inland areas to the coast, not the other way around. When required as part of a proposed seawater desalination facility, some of the impacts associated with the distribution infrastructure may be part of Coastal Act review.
- **Maintenance and Cleaning:** Each desalination facility requires some level of anti-fouling treatment and regular maintenance and cleaning, which will vary based on the desalination method used, the type of materials used, and other factors. Recent developments in membrane technology have extended the expected lifespan of many membranes, filters, and associated materials; however, several of these improvements have not been thoroughly tested in a production environment. Additionally, like other water sources, once treated water is in the distribution system, it must be kept clean until it reaches the end users, so there are ongoing costs associated with maintenance and cleaning the water supply system.

SEAWATER DESALINATION AND THE CALIFORNIA COASTAL ACT
– MARCH 2004 –

- **Conformity with existing water supplies:** When various sources of water are mixed in a distribution system, they must be chemically compatible. For example, mixing water treated with chlorine and water treated with chloramines may cause problems in the system and to the end users.
- **Desired quality of end product:** Not all desalinated water is intended to be used as drinking water, and costs will vary depending on whether the water will be for purposes needing higher- or lower-quality water, such as manufacturing, irrigation, or agriculture. The standards that apply to the end product water will also affect costs – for example, a facility producing drinking water may be subject to stringent treatment requirements, more extensive sampling and monitoring of both its water quality and its production methods, and other conditions meant to protect public health.
- **Full-time or part-time operation:** Facilities that operate part time or to provide back-up supply are likely to have higher costs per acre-foot of produced water since the capital and maintenance costs must be paid even when the facility is not producing.

Other variables may include easily-determined costs and benefits such as sales revenue or financial incentives such as subsidies and grants, as well as less easily-determined considerations such as the value to a water purveyor or to end-users of having a reliable supply, increased control over future supplies, and the avoided costs of treatment, storage, and conveyance from other sources (from the 2000 Urban Water Management Plan, San Diego County Water Authority).

REDUCED COST DIFFERENCE BETWEEN DESALINATION AND OTHER SOURCES

A significant economic change during the last decade is the reduced difference in cost between desalinated water and other water sources. In its 1993 report, the Coastal Commission found that desalination cost between \$1000 and \$4000 per acre-foot (including operation and maintenance costs, along with capital costs amortized over an assumed plant life of 20 to 30 years). While there are currently no large-scale coastal desalination facilities operating in Southern California and therefore no actual costs to provide an accurate comparison, estimated costs from several facilities being proposed along the California coast represent a substantial decrease from 1993 cost estimates (see Table 3)⁸.

⁸ Additionally, the San Diego County Water Authority recently studied some of the economic considerations that went into planning the 25 mgd desalination facility built in Tampa Bay, Florida. Water produced from that facility had been estimated to cost between \$560-680 per acre-foot due in part to several economically advantageous aspects of the proposal:

- The source water in Tampa Bay has lower salinity than ocean water (about 26 ppt vs. 35 ppt);
- Power costs are just under \$0.04 per kWh.
- The facility would use the existing intake and outfall from the adjacent power plant.
- Its relatively high capacity of 25 mgd allows for some economies of scale.

(from the SDCWA Urban Water Management Plan, 2000).

This facility opened in March 2003, but has been shut down or operating at lower production rates for most of the time since then, due to unanticipated processing problems, maintenance requirements, and financial difficulties. The eventual costs will likely be higher than the estimates cited above.

SEAWATER DESALINATION AND THE CALIFORNIA COASTAL ACT
– MARCH 2004 –

TABLE 3: PLANNED COSTS OF SEVERAL SOUTHERN CALIFORNIA DESALINATION PROPOSALS

Facility:	Capacity (in million gallons per day):	Capital Cost (in millions):	Production Cost (per acre-foot, w/\$0.05 kWh electricity):
Los Angeles Department of Water and Power	12	\$70	\$1033
Long Beach Water District	9	\$62-92	\$711-1171
Orange County Municipal Water District	25	\$114-140	\$860-1007
San Diego County Water Authority	50	\$272	\$909
West Basin Municipal Water District	20	\$130	\$904

(from Shahid Chaudhry, California Energy Commission – Unit Cost of Desalination presentation to State Desalination Task Force, July 30, 2003.)

Note: These figures are based on energy costs of \$0.05 per kWh. Under current requirements and market conditions, energy costs are in the range of \$0.08 to \$0.13 per kWh, so the production costs noted above should be adjusted upward by \$150 to \$350 per acre-foot.

During the same period, the costs of several other existing water sources have increased. For example, in 1991, the Metropolitan Water District (MWD) of Southern California paid approximately \$27 per acre-foot for water delivered from the Colorado River and \$195 per acre-foot for water from the California Water Project. The MWD now pays an average of \$460 per acre-foot of delivered water. As a result of the cost increase for imported water and the cost decrease for desalination, the difference between the costs of the two sources has declined from up to 3000 percent in 1993 to roughly 50 to 100 percent today. Although desalination still costs more, there is apparently a willingness by some suppliers and users to pay a premium for water not subject to drought and less vulnerable to disruption.

Even with the trend towards reducing the cost difference between it and other sources, desalinated water is still likely to cost more for the foreseeable future. The higher costs, therefore, represent, at least in part, the costs associated with the perceived benefits of having a local and drought-proof supply.

HOW ARE ECONOMIC COSTS INCORPORATED INTO COASTAL ACT REVIEW?

Review under the Coastal Act requires evaluating the adverse environmental effects of proposed projects, and identifying the feasible alternatives that would be less environmentally damaging and the mitigation measures that would avoid or minimize those effects. “Feasibility” is defined in section 30108 of the Coastal Act as “capable of being accomplished in a successful manner within a reasonable period of time, taking into account economic, environmental, social, and technological factors”. Cost, therefore, is one element considered in determining which alternatives and mitigation measures are to be included as part of a proposed project for it to conform to the Coastal Act. Chapter 2.2.1 of this report discusses “feasibility” in greater detail.

SEAWATER DESALINATION AND THE CALIFORNIA COASTAL ACT
– MARCH 2004 –

WHAT'S LIKELY TO BE NEEDED DURING REVIEW?

Realistic assessment of project costs: At the very least, this should include costs of the various project components that may affect coastal resources and therefore may require an assessment of alternatives or mitigation measures, and should also include the assumptions used to establish these costs. It may be most efficient to include a comprehensive benefit/cost analysis as part of the initial environmental review of a proposed project so these issues can be addressed early in the process.

CHAPTER 4: COASTAL ACT PUBLIC RESOURCE POLICIES RELATED TO DESALINATION

Chapter Sections:

- 4.1 Coastal Resources As Public Resources**
- 4.2 The Potential Effects of International Trade Agreements on Water Services**
- 4.3 Coastal Act Public Resource Policies (including Growth-Inducement, Priority Uses, Public Access and Recreation)**

This chapter provides some background to the Coastal Act’s underlying public resource principles and policies and the relationship of those Coastal Act elements to recent trends in privatization and international trade agreements. It starts with a discussion of coastal resources as part of the public “commons”, and includes a brief description of the Public Trust Doctrine, one of the underlying legal constructs of the Coastal Act. The chapter next discusses the potential shift of seawater from a public and “commons” resource to a private and commodity resource. It also discusses possible differences in issues that might be evaluated in the context of coastal resource impacts and Coastal Act policies, depending on whether a proposed desalination facility is a public or a private commercial venture. Although Coastal Act policies must be applied equally to public and private commercial projects, different issues may be raised by virtue of the different nature of each type of entity. These sections are followed by a discussion of emerging issues relating to the possible implications of international trade agreements on the ability of state and local communities to effectively implement coastal resource protection policies in connection with the regulation of certain private commercial desalination projects. All of these sections address a common element of the Coastal Act – that many coastal resources in general, and ocean water, in particular, are public resources that must be protected for the benefit of current and future generations. This chapter then closes with discussions of specific Coastal Act public resource policies, including those related to growth inducement, priority uses, public access, and recreation.

4.1 COASTAL RESOURCES AS PUBLIC RESOURCES

Main Points:

- *Ocean water and its associated uses and values are public resources.*
- *Approved uses of ocean water must ensure protection of public rights, interests, and values for ongoing navigation, fishing, recreation, and ecosystem preservation pursuant to the Public Trust Doctrine and Coastal Act policies.*
- *Coastal desalination represents a shift in the use of seawater from primarily non-consumptive uses to a consumptive use, which has implications for how seawater is perceived and valued.*

4.1.1 SEAWATER AS PART OF THE PUBLIC “COMMONS”

A fundamental Coastal Act principle is that many coastal resources are imbued with a public interest and value that must be vigorously protected for the benefit of current and future generations. Unlike many coastal resources that are privately owned, ocean water, and the uses and values it embodies, constitute a public trust resource held in common for public use and

SEAWATER DESALINATION AND THE CALIFORNIA COASTAL ACT
– MARCH 2004 –

enjoyment. This principle is codified in numerous federal and state laws and regulations, including the Coastal Act (see The Public Trust Doctrine, next page). Notwithstanding the public nature of coastal ocean waters, use of such waters and of living and non-living resources in and under them have historically been allowed for non-public purposes.

Ocean water serves a number of beneficial uses and vital environmental, social, and economic functions. It is part of the shared public “commons”, it serves as habitat for a multitude of species, it is a source of food and livelihood for society, and it is used to support transportation, commerce, recreation, and other important societal uses. For the most part, these uses are non-consumptive and sustainable, in that using ocean water for one of these purposes does not necessarily impair its ability to be used for others.

SEAWATER AS A “COMMON” RESOURCE OR COMMODITY?

Using seawater as a source of potable water would represent a shift from it being subject to primarily non-consumptive uses to including a consumptive use. The scale of ocean water consumption due to proposed desalination would be extremely small compared to the overall size of the resource; however, there could be significant local or regional direct or cumulative impacts to the uses or values associated with ocean water. The economic dynamics and considerations involved in the consumptive use of a resource are significantly different from those of a non-consumptive use. One of these differences is that seawater is transformed from a public trust resource held in common for public use to that of a commodity⁹ to be taken out of the larger resource to be sold and consumed. This “commodification”, or conversion of a resource from being subject to mostly non-market social rules to market rules, is generally accompanied by significant shifts in how it is perceived and managed, and changes the basis of decision-making about the resource from being guided by non-market social rules to being directed primarily subject to market economic rules¹⁰.

This shift is not unique – to some degree, many other public goods or resources have become commodities, including fresh water (through appropriative water rights, water marketing, interbasin transfers, etc.), clean air (through emissions trading), and public land (through grazing permits, timber harvests, mineral extraction, etc.). Each of these shifts has been accompanied by changes in how these resources are perceived and managed – for example, the public or private rights conveyed by their use, the interests, values and responsibilities involved in decision-making about them, and changes in both anticipated and unanticipated costs and benefits resulting from the manner in which they are used.

⁹ Commodity: “1. Something useful that can be turned to commercial or other advantage...; 2. An article of trade or commerce, especially an agricultural or mining product that can be processed and resold.” From The American Heritage® Dictionary of the English Language, Fourth Edition.

¹⁰ From Gleick, Peter, Gary Wolff, Elizabeth Chalecki, and Rachel Reyes. The New Economy of Water: The Risks and Benefits of Globalization and Privatization of Fresh Water. Pacific Institute for Studies in Development, Environment, and Security, February 2002.

SEAWATER DESALINATION AND THE CALIFORNIA COASTAL ACT
– MARCH 2004 –

THE PUBLIC TRUST DOCTRINE: The Public Trust Doctrine is a legal construct that predates by centuries the origins of the U.S. and the many other Western countries where it applies. The doctrine reflects English Common Law dating from the era of the Magna Carta in the 13th Century, which is, in turn, based on the Justinian Code of the Roman Empire.

Public trust resources are those that cannot be fully owned by a private entity and are held and managed by the state (the trustee) for the benefit of all. Some core principles of managing such a trust are: the trustee works solely on behalf of the beneficiaries (the public); the productive capacity of the trust is to be protected; and, the benefits and productivity are to be perpetual¹. In practice, the Public Trust Doctrine requires that resources subject to the public trust (e.g., tidal and submerged lands) must be used in a manner that is consistent with public trust purposes and values even when private uses of such resources are permitted. The Doctrine's most common uses have been to ensure that navigable waters, tidelands, and submerged lands are protected for navigation, commerce, and fishing, although the flexibility inherent in the general Doctrine has resulted in somewhat different applications in different states. In California, it is codified in portions of the state Constitution². California courts have determined the doctrine applies not only to the land underlying the water but also to the water itself³, and applies not only to navigation⁴, commerce and fisheries, but also to water quality "...boating, swimming, fishing, hunting, and all recreational purposes"⁵, "preservation"⁶, and other "ecological and aesthetic values"⁷. While private uses are allowed, they are generally limited to those that would not harm or interfere with public trust values, including the uses identified above.

In California, while the state legislature and the State Lands Commission, and, ultimately the courts are the primary guardians of land and water resources impressed with public trust values and interests, other public agencies and policies, such as the Coastal Commission and the Coastal Act, share public trust stewardship responsibilities and represent additional statutory codification of the Doctrine. The Commission's review of proposed coastal desalination facilities using seawater from the open ocean, bays, or estuaries must address the question whether the proposal is consistent with public trust principles as embodied in Coastal Act policies. As a basic underpinning of the Coastal Act, the Doctrine informs the Commission's interpretation and application of the Act's policies, and when applying those policies in its decisions, the Commission manifests and implements its public trust responsibilities to protect marine organisms, ecological functions and habitat, aesthetics, and other public trust interests and values.

¹Fairfax, Sally. "Trusts and the Public Trust Doctrine", from Tomales Bay Institute speech given November 14, 2000.

² California Constitution, Article 1, Section 25: "The people shall have the right to fish upon and from the public lands of the State and in the waters thereof, excepting upon lands set aside for fish hatcheries, and no land owned by the State shall ever be sold or transferred without reserving in the people the absolute right to fish thereupon; and no law shall ever be passed making it a crime for the people to enter upon the public lands within this State for the purpose of fishing in any water containing fish that have been planted therein by the State; provided, that the legislature may by statute, provide for the season when and the conditions under which the different species of fish may be taken."

³ *National Audubon Society v. Superior Court*, (1983) 33 Cal.3d 419.

⁴ *People v. Gold Run Ditch and Mining Co.* (1884) 66 Cal. 138.

⁵ *People v. Mack*, 19 Cal. App. 3d 1040, 1045, 97 Cal. Rptr. 448 (1971).

⁶ *Marks v. Whitney*, 6 Cal.3d 251, 259, 491 p.2d 374, 98 Cal. Rptr. 790 (1971) – "[O]ne of the most important public uses of the tidelands... is the preservation of these lands in their natural state..."

⁷ *National Audubon Society v. Superior Ct.*, 33 Cal.3d 419, 435, 658 P.2d 709, 189 Cal. Rptr. 49 (1983) – "The principal values plaintiffs seek to protect, however, are recreational and ecological – the scenic views of the lake and its shore, the purity of the air, and the use of the lake for the nesting and feeding by birds. Under *Marks v. Whitney*, *supra*, 6 Cal. 3d 251 [491 P.2d 374, 98 Cal. Rptr. 790] (1971), it is clear that protection of these values is among the purposes of the public trust." Also *City of Berkeley v. Superior Court*, 26 Cal.3d 515, 521, 606 P.2d 362, 162 Cal. Rptr. 327 (1980) – "Although early cases expressed the scope of the public's rights in tidelands as encompassing navigation, commerce and fishing, the permissible range of public uses is far broader, including the right to ...preserve the tidelands in their natural state as ecological units for scientific study."

SEAWATER DESALINATION AND THE CALIFORNIA COASTAL ACT

– MARCH 2004 –

Additionally, these “commons” resources – fresh water, clean air, public land – were initially thought of as limitless, renewable, or sustainable, at least at their historic levels of use. With increasing pressures at local or regional scales, however, these resources have in many places shifted from being used at renewable levels to being degraded, used at unsustainable levels, or otherwise used in ways that reduce their availability to the public at large. Increased consumptive uses and the industrial processes associated with those uses can create localized adverse impacts, either directly – through facility siting, entrainment of marine organisms, or pollution discharges – or indirectly – due to poorly planned infrastructure systems, induced growth, or the numerous cascading environmental consequences that occur subsequent to many of the direct impacts. For example, trading emissions credits between air basins may result in an overall air quality improvement, but may cause one local population to suffer some loss of a common good (healthful air quality) due to improvements gained by another population. Similarly, a large-scale interbasin transfer of fresh water to a heavily-populated area may create shortages of a previously “common” good in the extraction area where economic considerations and pressure for development are not as great as in the areas to which the water is being transferred.

This increase in consumptive use may also increase the pressure to emphasize the market value i.e., the “commodification”) of ocean water relative to its “commons” value. Currently, seawater is generally considered a limitless resource, just as the other resources of the commons were thought of in the past. And like the use of those other resources, consumptive uses of seawater and the industrial processes associated with those uses can result in significant direct or cumulative adverse environmental impacts at the local or regional level, resulting in effects such as species decline, reduction in bio-diversity, decline in water quality, degradation of scenic resources, development pressure, beach closures, or other adverse effects on coastal ecosystems. While ocean water desalination may not raise precisely the same concerns as interbasin transfers of surface or subsurface freshwater noted above, there are parallels – for example, a seaside community may be asked to absorb the adverse effects of a desalination facility, such as the impacts of the seawater intake and brine discharge on local beaches and marine life, while another community elsewhere on the coast or located some distance inland may reap the benefits of the produced water supply.

One significant difference between the proposed use of seawater for desalination and the other examples above is that the shift from a public trust or “common” resource to that of a privatized, marketable commodity has not yet happened in California. This provides an opportunity for a timely assessment and deliberative public discussion of the relative merits and demerits, and the potential comparative costs and benefits of allowing, or not allowing, a shift to a new form of appropriation of a common public resource (i.e., ocean water) imbued with public trust values.

4.1.2 COASTAL ACT CONSIDERATIONS OF PUBLIC OR PRIVATE OWNERSHIP OF WATER SERVICES

Main Points:

- *Public not-for-profit and private commercial desalination facilities may raise different types of coastal resource impact concerns. Although the same Coastal Act policies generally apply to both public and private facilities, determining whether each type of facility conforms to those policies may require different types of information and may result in different decisions or conditions of approval to ensure coastal resources are adequately protected.*
- *Private seawater desalination may result in an inherent conflict between the interest of a community in having a local and reliable supply of water while at the same time placing the decisions about how that water is used, priced, and managed outside of the community's control.*

The prevalent mechanism for water commodification is “privatization”, or the transfer of some or all assets or operations from public to private entities. The legal and institutional nature of public and private entities delivering water services to communities of consumers exist on a continuum. There are purely “public” and purely “private” entities, with many variations in between¹¹. The institutional arrangements between public and private entities can vary based on financing, production, operation, maintenance, management, marketing, pricing, public accountability, and distribution of water for various uses. Examples range from a situation where a public agency contracts with a private firm only to construct a new facility that is to be operated by the public entity, to the “design-build-own-operate” approach in which the private entity is contracted to take on all, or many, of a public agency’s role in providing water services.

In California, water provision has most commonly been a service supplied by some type of public agency, municipal water district, or mutual water company, with a smaller number provided by investor-owned utilities¹². The public agencies are generally subject to the types of standards and practices common to other public entities, such as transparency of decision-making by elected or appointed officials, requirements for public notice, public hearings and opportunity for public comment and oversight, and other similar measures. Public agencies subject to California Public Utility Commission (PUC) rate-setting regulations have consumer rates set at levels needed to cover costs of capitalizing facilities and operating the water service. The PUC also establishes rates for some private commercial for-profit operators which allow for

¹¹ For example, Coastal Act Section 30114(a) defines “public works”, in part as: “production, storage, transmission, and recovery facilities for water, sewerage, telephone, and other similar utilities owned or operated by any public agency or by any utility subject to the jurisdiction of the Public Utilities Commission, except for energy facilities.”

¹² A public agency or municipal water district is meant to operate on behalf of the public that it serves. It is generally managed by a board that is either publicly-elected or appointed by elected officials. A mutual water company is generally a not-for-profit private company whose shareholders are the local property owners that use the water supply provided by the company. A private, or investor-owned company is organized as an investment venture to generate profit for its owners or shareholders, who may or may not be local users of the water supply.

The California Department of Water Resources reports that in 1994-96, of the 2850 water agencies in California, 195 (or about 7%) were private investor-owned facilities (Source: California Water Plan Update: Bulletin 160-98).

SEAWATER DESALINATION AND THE CALIFORNIA COASTAL ACT
– MARCH 2004 –

a reasonable profit on investment incorporating a variety of factors, including maintaining service quality, accountability, maintenance of the system, security, competition with other providers and users, and longevity of operations. There are also some private entities not subject to PUC rate-setting authority or associated regulatory oversight.

Two converging trends in this arena evident today are the allure of “privatization” and the perception of “water services” as a profit-making venture. As public entities face growing budgetary constraints, many local elected officials are attracted to the perceived benefits of “privatizing” all or some of their water service responsibilities. Concurrently, a number of domestic and multinational business entities have identified providing water or “water services” as an attractive profitable investment opportunity. Recent trends towards utility deregulation and interest by government entities to privatize public services are creating opportunities for private investors to take on some risks and responsibilities of providing water to the public in exchange for some level of compensation and profit. Additionally, some government and business sectors see water and water services as a marketable commodity rather than as a natural resource held in common for the public good or as a responsibility reserved for government implementation. Even assuming some financial benefit for public agencies, the combination of seawater desalination and the current interest in deregulation, privatization, and “running government like a business” creates a potential for commodification and privatization of ocean waters that, from the served community’s perspective, may prove to be environmentally, socially, and economically ill-advised.

There have been a number of risks identified in privatizing the provision of water, which at the very least, may need to be addressed by governmental entities considering such a move:

- Will the privatization agreements protect public ownership of water and water rights?
- Will there be adequate public oversight and monitoring?
- What measures will be implemented to protect ecosystems or other water users, for both water quantity and water quality?
- What effect will privatization have on water-use efficiency and conservation?
- How will it affect under-represented or under-served communities, and what effect will it have on economic inequities?
- What measures are in place to rescind the agreements if privatization does not work or causes problems?¹³

A government entity considering a transfer of water-related assets from public to private control should, at the very least, incorporate answers to these questions into its considerations.

APPLYING COASTAL ACT POLICIES TO PUBLIC OR PRIVATE FACILITIES

Although public and private development proposals are generally held to the same Coastal Act standards when determining conformity with Coastal Act requirements, the law and its application in practice may result in some differences when reviewing one or the other type of proposal. Determining whether a proposal conforms to Coastal Act policies may require additional or different evaluations depending on the public or private nature of the entity

¹³ From Gleick et. al, *ibid.*

SEAWATER DESALINATION AND THE CALIFORNIA COASTAL ACT
– MARCH 2004 –

proposing the new development. Recognizing that the same policies apply in either case, examples of possible differences include:

- Assessing the growth-inducing consequences of a desalination facility, including whether water service can be provided outside of existing community service areas.
- Identifying how and where a new water supply will be used to support other development, and whether that development, if in the coastal zone, is supportive of coastal priority uses – for example, a public facility is likely to factor into its water service decisions the need to provide for priority uses, whereas a private facility may make its service decisions based on the profitability of selling to one user over another.
- Determining incentives for project operators to implement effective water conservation measures that provide coastal resource protection benefits.
- Determining whether the project might compromise the fiscal viability of existing community services, or creates the potential to transfer responsibility for service to the public if a private water service venture either fails to obtain necessary financing (as was apparently the case with the recent Tampa Bay, Florida desalination project), or fails financially and ceases operations.

A key underlying difference between a public and private entity – the degree to which each is subject to public scrutiny and accountability – may result in a need for different types of assurances or permit conditions for each to ensure conformity to Coastal Act policies. Several areas where these differences are likely to show up – such as growth-inducement, “coastal-dependency”, priority uses, and others – are discussed in later sections of this report.

In addition to these potential differences in determining whether a public or private development conforms to particular Coastal Act policies, there are broader implications that may affect how other aspects of the Coastal Act are implemented. Allowing ocean waters to become a commodity and marketed for profit would result in a substantial change in how seawater is used and valued by society. As a privatized commodity, water and water services would be developed, managed, and marketed as a for-profit product subject to market forces and practices significantly different from the values and decision-making involved when that same water is subject to the full range of public interest values. While the focus of regulatory and planning review pursuant to the Coastal Act must be on coastal resource impacts and conformity to the Act’s policies, neither the Commission nor the public is likely to ignore the differences between a project driven by market forces serving the interests of investors and one driven by a public agency acting in what is required to be for the best interests of the community and coastal resources.

Private corporations are at the forefront of the drive to privatize public-serving water systems around the country and in the world. Unlike public agencies, which generally have an obligation to incorporate numerous social, environmental, health, and safety considerations into their decision-making, the primary purpose of private corporate commercial entities is to maximize profits for shareholders. It is the institutional nature of the corporation, and the responsibility of corporate directors and officers, to maximize return on investment, which is not necessarily in

SEAWATER DESALINATION AND THE CALIFORNIA COASTAL ACT
– MARCH 2004 –

the best interest of the local community or the environment. This invariably affects the way business is conducted and the way decisions are made, resulting in what can be significant impacts on consumers, the community, and the environment. Accordingly, if corporations are allowed to own, operate and profit from water services, pressure will inevitably be brought to bear on ways to increase profits through means such as expansion of service area, rate increases and higher consumption, which are not necessarily in the public interest.

Where profit is the primary motive underlying the ownership and provision of water services, it would not be unreasonable to conclude that water conservation, water reclamation, water quality, minimization of growth-inducing effects, and safeguarding community serving water systems against destructive hostile action may be compromised. Unlike public agencies not in pursuit of financial gains, privatized systems can reasonably be expected to provide only those environmental protections and other system safeguards that government regulations require or that marketing and tax write down incentives offer as economic benefits. For example, if conservation is seen as being in the public interest, a public agency might more strongly emphasize water conservation over water production, even if foregoing increased production would bring in less revenue. A private, for-profit facility, on the other hand, is more likely to emphasize the opportunity for increased profits that come with increased production. In addition, given the importance of community water systems, it is necessary and appropriate to expect the owner-operator to take all necessary and appropriate steps to ensure public safety by protecting the integrity of the system against hostile action (disruption or contamination of water supply). Public agencies have responsibilities to do so as a matter of their fundamental structure and duty notwithstanding the costs involved. Privately owned and operated for-profit systems are not driven by similar considerations, and may more readily chose to do no more than the minimum required to ensure basic protection of the system.

Several recent experiences in several areas of the U.S. and other parts of the world suggest that user rates, quality of customer service, infrastructure maintenance and upgrades, system reliability and water pressure may suffer if water services are privatized. Examples of private entities leaving the public to absorb the consequences, often at great public expense, are many¹⁴. The Coastal Commission has experience with failed privately owned projects (e.g., fiber-optic cable projects, coastal hotels, etc.) that adversely affected public resources but did not adequately provide some of the amenities necessary to mitigate for those effects. Other examples include public agencies having to take on the work and expense of cleaning up toxic contamination on sites abandoned by or transferred to the public by private commercial users. A local example is a recent public buy-back of the water system in Montara, California, which required passage of an \$11 million bond by the local water users.

¹⁴ Various reports and articles note difficulties with privatization in communities including Montara, California; Tampa Bay, Florida; Atlanta, Georgia; Stockton, California; New Orleans, Louisiana; Indianapolis, Indiana; Lawrence, Massachusetts.; the counties of Duval, Nassau and St. John's in Florida; Huber Heights, Ohio; Chattanooga, Tennessee; Washington Court House, Ohio; Peoria, Illinois; Pekin, Illinois; Angleton, Texas, and others.

SEAWATER DESALINATION AND THE CALIFORNIA COASTAL ACT
– MARCH 2004 –

The privatization and commodification of water services and water raises questions and concerns both directly and indirectly relevant to implementing Coastal Act policies. Many of these issues are part of a larger public policy debate, and raise questions about the implications of shifting control from public to private, such as the following:

- Should seawater, a public resource held in common for the benefit of current and future generations, be allowed to be expropriated by private business for profit?
- Is it in the public interest, and is it good public policy, for community-serving water systems to be bought by, or turned over to for-profit corporations?
- Does privatization of seawater desalination, with its decision-making by non-elected, non-appointed, and non-local interests, contradict the desire of communities to have a local and reliable water supply?
- Does the public or private nature of a community-serving water system result in a different level of security regarding protection of public health, protection from water supply disruption due to threats, or other related issues?
- What is the potential that international trade agreements could be used to override or impair state and local regulation of desalination facilities owned and operated by multi-national companies? This is a serious concern and is discussed in the next section of this report.

The profound changes in the world of water services discussed above are concurrent with technological advances that are making seawater desalination more feasible. Water providers along the California coast are proposing or considering numerous large-scale proposals to tap into the Pacific Ocean for potable water at economic costs approaching those of some other current sources, such as water imported from the Central Valley or the Colorado River. While many issues associated with the shifting legal landscape of providing water services in California lie within the purview of other government bodies, including various federal agencies, the California Public Utilities Commission, or the State Water Resources Control Board, the Coastal Commission still retains has important responsibilities in determining whether proposed desalination projects are consistent with the public policies related to coastal resource protection.

4.2 POTENTIAL EFFECTS OF INTERNATIONAL TRADE AGREEMENTS ON WATER SERVICES

Main Points:

- *California expects that its laws and regulations apply as written and implemented; however, there are concerns that recent international agreements and legal decisions relating to free trade could be construed as limiting the ability of state and local governments to effectively regulate the activities of multinational corporations as they relate to environmental protection.*
- *These concerns about how current and proposed international trade agreements will affect state and local agencies' abilities to regulate proposed desalination facilities are based in part on the stated purpose of many of these agreements, which is to remove as many barriers to trade as possible. In some cases, this may include environmental protection statutes, such as those contained in the Coastal Act.*
- *Desalination projects proposed by multinational interests will undergo careful review and evaluation to ensure international trade agreements allow conformity to the Coastal Act.*

INTRODUCTION AND BACKGROUND

This section summarizes some of the complex underpinnings and possible consequences of the growing body of international trade agreements and international law that could ultimately change the governance of public resources (see Primary Multinational Agreements, next page). California expects that its laws and regulations will apply as written and implemented; however, arguments are being made that some existing and proposed agreements might limit the ability of state and local agencies to review and regulate projects for the purpose of environmental protection in cases that involve private entities with multinational ties. Agreements not yet adopted but currently being negotiated arguably could have even greater potential to affect state and local government regulation.

Provisions of the North American Free Trade Agreement (NAFTA), the General Agreement on Trade in Services (GATS), the General Agreement on Trade and Tariffs (GATT), and resulting changes in international law have created a new generation of complex, binding and enforceable trade agreements that raise potential conflicts with state and local regulatory authority, and may make nation-states liable for, among other things, lost corporate profits and investment expectations. There are differences between the various multinational agreements as to their extent into regulatory issues, their enforcement and monitoring provisions, whether signatory nations “opt in” or “opt out” of various provisions, and others. Within the various types of agreements, there are also different methods for implementing the agreements, each of which may affect local or state decision-making to a different degree. They range from the less restrictive “Most Favored Nation” status to provisions that limit the ability to apply domestic regulations to multinational entities. However, the common focus of these agreements is to remove as many barriers to trade as possible, which could include removing or weakening many domestic environmental, safety, and health standards. There are also similar bilateral agreements now in place or being negotiated that have a similar focus.

SEAWATER DESALINATION AND THE CALIFORNIA COASTAL ACT
– MARCH 2004 –

Primary Multilateral Agreements

Trade agreements provide a legal framework that defines the rules of international trade, a dispute resolution process for the interpretation of those rules, and the enforcement mechanisms necessary to ensure compliance of those rules.

GATT - The General Agreement on Tariffs and Trade, first negotiated in 1947, represents the primary foundation for modern multilateral trade agreements. Most recently renegotiated in 1994, GATT remains the primary agreement addressing the trade in goods. It also provides the basic framework for international trade and lays down many of the principles used in subsequent agreements. GATT is a voluntary organization, and it possesses few enforcement mechanisms.

WTO - The World Trade Organization agreement was negotiated in the Uruguay Round of trade talks and took effect in 1995. Currently, 142 countries are parties to the agreement. The WTO is the umbrella organization that covers about 60 agreements and separate commitments (called schedules). The WTO agreement is considered as a "single undertaking" agreement, meaning that by joining the WTO, a party (member nation) agrees to all of the covered agreements. The WTO, unlike its GATT predecessor, has real authority and disciplinary power.

NAFTA - The North American Free Trade Agreement was negotiated between Mexico, Canada and the United States and took effect in 1994. It seeks to eliminate all trade restrictions between the three countries and create a single trade region.

FTAA - The Free Trade Area of the Americas is now being negotiated and will encompass 34 of the 35 nations of North, Central and South America (excluding Cuba). The details are not yet known, but all indications are that it is being modeled after NAFTA.

GATS – The General Agreement on Trade in Services is part of the WTO and is under current negotiation (although the framework itself is not still under negotiation). A service is an intangible product of human labor. The GATS would create new trade rules that will affect the ways in which services are provided, including essential services such as public water supplies, public health care and public education. The stated goal of the GATS is the progressive liberalization of trade in services, which means removing as many barriers to trade as possible.

From the California State Senate Select Committee on International Trade Policy and State Legislation Factsheet: "Terms of International Trade".

APPLICABILITY OF TRADE AGREEMENTS TO SEAWATER DESALINATION

Water provision is not yet specifically listed as a "service" covered by the GATS, and has not yet been included by the U.S. as a specific service commitment; however, numerous water-dependent services have been included, and European Union proposals to include water as a "service" are currently being negotiated. If this occurs, it will mean that several of the more far-reaching provisions of GATS will apply to the provision of water services, including those provided through seawater desalination. Indeed, there is a strong push from several of the more powerful negotiating countries to include all services unless specifically exempted.

SEAWATER DESALINATION AND THE CALIFORNIA COASTAL ACT
– MARCH 2004 –

As noted in the previous section, the provision of water in urban areas has until recently been primarily a not-for-profit public service provided by public agencies, municipal water districts, or by mutual water companies controlled by shareholders who are the consumers living within the service area. Over the last decade, however, there has been a global push and trend to privatize water supplies and treat water as a for-profit commodity. Because of global consolidation within the water industry over this period, most private entities active in the industry today are subsidiaries or affiliates of multinational corporations. Three such entities (Vivendi, Suez Lyonnaise and RWE) now control more than 50% of the global water market¹⁵.

These agreements are not limited to those trade activities that occur across national boundaries, but also includes entirely local transactions that involve a multinational corporation. The GATS defines “trade in services” broadly enough to apply to entirely local transactions if one of the entities is a multinational doing business in the territory of another member¹⁶. Under GATS, once a country has committed to apply GATS to a specific service sector, domestic laws relating to the provision of covered “services” must be based on “objective and transparent criteria”, and not be “more burdensome than necessary”¹⁷. A report produced for the Council of Canadians states, “When transnational corporations become partners in a public-private partnership relationship, what would otherwise be entirely a matter of domestic regulation and contract becomes subject to international trade regulation”¹⁸. This means that a multinational corporation based in a NAFTA-member country or another country party to a similar agreement, (of which there are many) that is intending to operate a private desalination facility in California, even if only for local water distribution, could claim investor rights under NAFTA’s Chapter 11. Moreover, the home country of the multinational could challenge the state’s regulatory requirements under GATS, possibly subjecting the state’s regulatory requirements to legal challenge at the international level. Challenges could be brought, for example, against Coastal Act policies relating to concentration of development, siting, habitat protection, agricultural preservation, or mitigation requirements for impacts related to entrainment, discharge, or runoff. Additionally, and importantly, if a multinational corporation invokes the WTO or NAFTA rules to challenge an action taken by the Commission or any other local or state agency, the party to the proceedings is not the agency whose action is being challenged, but the federal government.

The various trade agreements generally recognize the need for some level of health, safety, and environmental laws and regulations – for example, NAFTA, GATS, and GATT, all contain a provision supporting rules necessary to protect human, animal, or plant life or health. However, even with these provisions, thus far, and with one limited exception, all decisions on challenges to environmental laws under NAFTA and GATT have favored the multinational corporations.

¹⁵ *Thirst for Control*, Steven Shrybman, 2002, p. 23.

¹⁶ General Agreement on Trade in Services, Article 1:2 (c), (d).

¹⁷ Trade & Investment in Services, The Alliance for Sustainable Jobs and the Environment, 2002, p. 7.

¹⁸ *Thirst for Control*, Steven Shrybman, 2002, p. 11.

SEAWATER DESALINATION AND THE CALIFORNIA COASTAL ACT
– MARCH 2004 –

Examples include:

- A NAFTA tribunal ruled that Mexico must pay Metalclad Corporation \$16.7 million to compensate for the refusal by a Mexican municipality to allow Metalclad to run a hazardous waste dump after the federal government had assured the investor that it had all the necessary approvals, and the investor had sunk a lot of money into the project. With regards to the case, the Supreme Court of British Columbia opined that NAFTA's expropriation rule, (takings provisions for foreign investors) is "sufficiently broad to include a legitimate rezoning by a municipality or other zoning authority,"¹⁹ which could pave the way for multinational corporations to make claims that go well beyond "takings" claims allowed under the U.S. Constitution's 5th Amendment.
- Aguas del Tunari, a subsidiary of the American-based Bechtel Corporation is currently suing the government of Bolivia for \$25 million in lost profits from a failed privatization scheme in the city of Cochabamba. The dispute is being heard pursuant to a bilateral treaty between the Netherlands and Bolivia and a World Bank lending requirement. The tribunal hearing the dispute, the World Bank's International Center for the Settlement of Investment Disputes, has determined the case does not allow public participation or public access to the proceedings or to its associated documents.
- Several countries brought a challenge to the WTO against the U.S. requirement for shrimpers to use turtle-excluding devices on their nets. The tribunal upheld the right of the U.S. to impose requirements on shrimpers who catch shrimp for sale in the U.S., but also determined that the U.S. regulations were too strict. The federal government chose to resolve the issue by suspending the regulations relating to turtle-excluding devices and on-board monitors, and subsequently re-write them in what some say is substantially weakened form.
- In a case pending before the NAFTA tribunal, Methanex Corporation, maker of the gasoline additive MTBE, is seeking \$970 million in damages due to California's phase-out of that additive, which Methanex characterizes as a barrier to free trade.

If the U.S. were to agree to include the provision of water as a service subject to GATS, Coastal Act policies as applied to private desalination facilities could potentially be interpreted as barriers to free trade if the Commission or local government imposed permit conditions that were found to be "overly burdensome" or "subjective" by a WTO tribunal, or because they exceed regulations imposed by other countries for similar activities²⁰. Indeed, the Coastal Act is not the only regulatory program that could be at risk. Challenges could be lodged against government action under CEQA, the Clean Water Act, the Clean Air Act, and any other state, federal and

¹⁹ The United Mexican States vs. Metaclad Corporation, 2001 BCSC 664.

²⁰ "Standards imposed by, and practices employed in, other countries can create *de facto* standards that may be treated as demonstrating the existence of a "less burdensome alternative" for purposes of GATS Article VI:4(b) and VI:5(a). In addition, GATS envisions that reviewing bodies will look to "international standards of relevant international organizations" in determining whether a member is complying the "objective and transparent criteria" and "no more burdensome than necessary" standards. Art. VI:5(b)."

SEAWATER DESALINATION AND THE CALIFORNIA COASTAL ACT
– MARCH 2004 –

local environmental protection law that regulates land and water use, or the quality of water, air, or other resources where multinational entities are involved.

Because these emerging changes in international law are evolving and are subject to interpretation by private trade tribunals, they raise more questions than this report can definitively answer. It is likely that the full scope of the effects of NAFTA, GATS and other trade agreements on California's coastal management program will not be fully understood unless and until tested through the various dispute resolution processes, and perhaps not even then. To compound the situation, the impact and implications of these treaties are constantly shifting as a result of ongoing rounds of progressive trade agreement negotiations. If the U.S. were to agree to expressly include water as a service subject to GATS, it would create the potential for new and broader challenges along these lines. In the rush to address California's growing water needs, the consequences of international trade agreements constitute a profound, though not well understood, challenge to protecting public trust resources and implementing coastal resource protection policies pursuant to the Coastal Act at the state and local level.

Water Privatization in California: Of the approximately two dozen desalination projects currently proposed along the coast, at least six are proposed as privately-held facilities or public/private partnerships, including two (in Huntington Beach and Carlsbad) that would be the largest coastal desalination facilities in the U.S.

Other multinational private entities involved in supplying water to California include:

- **US Filter**, a subsidiary of the French company Vivendi, purchased about 45,000 acres of farmland in the Imperial Valley with access to water rights totaling approximately 250,000 acre-feet per year, representing about 8% of the amount used by San Diego County.
- **California-American Water Company** (Cal-Am), which owns several water utilities in the state (in Sacramento, Sonoma, and Monterey Counties, and in the communities of Montara, Moss Beach, Felton, Thousand Oaks, Camarillo, Coronado, and Imperial Beach) is owned by American Water Works, which in turn is owned by Thames Water, the largest water company in England, which in turn was recently purchased by RWE, a firm based in Germany. Cal-Am is proposing a desalination facility at Moss Landing.
- **Poseidon Resources**, proponent of the largest desalination facilities being proposed along the coast, has partnerships with a number of multinational companies, including Suez Lyonnaise and U.S. Filter.
- **OMI-Thames**, a joint venture involving Thames Water, now operates the water utility for the City of Stockton through a 20-year, \$600 million contract.

CONCLUSIONS AND POSSIBLE ACTIONS

The California Coastal Act is widely regarded among international coastal managers as the strongest and most effective of integrated coastal management programs. Given the risks to the program, to the state's coastal resources, and to most of the state's other significant environmental, health, and safety requirements meant to protect the public and the state's

SEAWATER DESALINATION AND THE CALIFORNIA COASTAL ACT
– MARCH 2004 –

resources, California should proceed cautiously in reviewing proposals to further privatize water and water services, particularly those involving seawater desalination. Such privatization coupled with uncertainty about the effects of international trade agreements may compromise the ability of state and local governments to effectively protect the environmental quality and integrity of life in natural and human communities along the coast.

Possible Commission actions to consider include the following:

- Increase awareness and understanding of the potential impacts of international trade rules on coastal management. In addition to a focus on desalination facilities, legal research on this topic should look into a broader range of coastal uses and on overall implementation of coastal resource protection policies by the Commission and local government. Collaboration with other state agencies and the state Attorney General's office is important.
- Before international trade agreements are invoked for "for-profit" water projects, undertake a thorough analysis of how the state will be able to implement Coastal Act and other policies through existing review and permit processes without provoking a trade challenge.
- In collaboration with the Coastal States Organization (CSO), undertake review of this issue area to identify concerns in common with other coastal states so that California can be part of a unified voice before Congress calling for safeguarding state's rights relative to the implementation of coastal management programs at the state and local level.
- The Commission, in collaboration with other appropriate state agencies, California's Attorney General, the Senate Select Committee on International Trade, and the Coastal States Organization, should monitor ongoing international trade negotiations by reviewing trade proposals listed in the federal register and provide comments to the U.S. trade representatives and the state's Congressional delegation about how proposed trade rules could affect implementation of California's coastal resource protection policies pursuant to the Coastal Act and federal consistency provisions of the federal Coastal Zone Management Act.
- Members of the California Legislature have repeatedly asked that state and local government regulatory authority to protect public health, safety and welfare be excluded from the operative provisions of international trade and investment agreements.²¹ California should continue to voice its concerns about language that may compromise its regulatory authority. Specifically, California should request that U.S. trade negotiators support the position that water is not a "service" to be included as a sector-specific commitment under GATS.

In closing, it is clear that desalination projects proposed by private or multinational applicants must be carefully evaluated for possible implications relative to the effectiveness of coastal resource protection resulting from the possible operation of international trade treaties.

²¹ Letter to USTR Rep Bob Zoellick from 29 members of Ca. Legislature, dated 3/28/03; SJR 40 (Kuehl), chaptered Aug 2002.

4.3 COASTAL ACT PUBLIC RESOURCE POLICIES

This section of the report describes several Coastal Act policies associated primarily with the public's use of the coast, including those related to growth-inducement, priority uses, public access, and recreation. Review of a proposed project for conformity to these policies may differ for some based on whether it is public or private; for others, the review may be the same.

4.3.1 GROWTH-INDUCEMENT

Main Points:

- *The Coastal Act allows growth and development in the coastal zone when it will not have significant individual or cumulative impacts on coastal resources.*
- *In some areas along the coast, the water supply provided by desalination may remove the primary constraint to growth and result in significant effects on coastal resources.*
- *Determining the “growth-inducing” impacts of a particular desalination facility will vary based on its service area, the growth allowed under certified Local Coastal Programs or other adopted plans, its interconnections with other water supplies or water purveyors, and whether it is a public or private facility.*

One of the Coastal Act's primary principles is that growth and development within the coastal zone be allowed when it will not cause significant adverse effects to other coastal resources. In some areas along the coast, desalination could remove what may be the single largest constraint to growth, a limited supply of potable water. In turn, this additional water could result in new and unanticipated pressures on local populations and infrastructure. Without adequately evaluating these increased stresses on local carrying capacity, the additional water available could cause growth beyond identified planned local or regional growth levels, and have significant adverse effects on coastal resources.

There are two main Coastal Act policies that require review of a proposal's growth-inducing effects²². The crux of these policies is that development in the coastal zone not significantly diminish other coastal resources. First, Coastal Act Section 30250(a) states, in part:

New residential, commercial, or industrial development, except as otherwise provided in this division, shall be located within, contiguous with, or in close proximity to, existing developed areas able to accommodate it or, where such areas are not able to

²² In addition, the CEQA Guidelines at 15126.2(d) provide further guidance on how growth-inducing impacts of proposed projects should be evaluated:

“**Growth-Inducing Impact of the Proposed Project.** Discuss the ways in which the proposed project could foster economic or population growth, or the construction of additional housing, either directly or indirectly, in the surrounding environment. Included in this are projects which would remove obstacles to population growth (a major expansion of a waste water treatment plant might, for example, allow for more construction in service areas). Increases in the population may tax existing community service facilities, requiring construction of new facilities that could cause significant environmental effects. Also discuss the characteristic of some projects which may encourage and facilitate other activities that could significantly affect the environment, either individually or cumulatively. It must not be assumed that growth in any area is necessarily beneficial, detrimental, or of little significance to the environment.”

SEAWATER DESALINATION AND THE CALIFORNIA COASTAL ACT

– MARCH 2004 –

accommodate it, in other areas with adequate public services and where it will not have significant adverse effects, either individually or cumulatively, on coastal resources... ”

By requiring new development be located close to areas of existing development or in areas with adequate public services, this section of the Act is intended to prevent new development from outpacing the ability of local communities to provide necessary public services. This requirement is further supported by section 30254 of the Coastal Act, which states, in part:

New or expanded public works facilities shall be designed and limited to accommodate needs generated by development or uses permitted consistent with the provisions of this division... Where existing or planned public works facilities can accommodate only a limited amount of new development, services to coastal dependent land use, essential public services and basic industries vital to the economic health of the region, state, or nation, public recreation, commercial recreation, and visitor-serving land uses shall not be precluded by other development.

Taken together, these policies generally require new development be located within or next to existing developed areas able to accommodate such development or in other areas with adequate public services, and provide that public works facilities be sized based on the ability to maintain, enhance, or restore coastal resources, and that development allow all coastal resources to remain viable. New development must also conform to the policies and standards contained in any applicable Commission-certified LCPs. These policies may relate to regional water and growth management goals or how limited water resources are allocated.

In addition to these Coastal Act policies, the state Desalination Task Force, in recognizing the importance of this issue, included as one of its findings:

Growth inducing impacts of any new water supply project, including desalination, must be evaluated on a case-by-case basis through existing environmental review and regulatory processes.

EVALUATING THE GROWTH-INDUCING IMPACTS OF COASTAL DESALINATION PROPOSALS

Reviewing a facility’s potential growth-inducing impacts may cover a wide range of questions and issues, depending on the characteristics of the proposal. Questions and issues for desalination proposals may include:

- ***Is the project meant to provide a baseline supply of water or is it to be used only for emergencies or drought relief?*** Projects meant to provide water only during emergencies are likely to have fewer growth-related impacts than projects providing an ongoing baseline supply. If a proposed project is intended to provide only emergency or drought-related water supplies, and evaluation under the Coastal Act reviews only those intended purposes, then any permit issued for such a project will likely include conditions requiring additional review if the capacity of the project changes.

SEAWATER DESALINATION AND THE CALIFORNIA COASTAL ACT

– MARCH 2004 –

- ***Does the project replace an existing supply of water or provide a new one?*** Some facilities are meant to replace water from a supply that may no longer be available to a community, such as a surface or groundwater source that has become contaminated, or a source that is overallocated or has been overdrawn. Other desalination facilities are meant to provide water in addition to existing supplies. The scope of review for each type of proposal will differ. When a desalination facility is meant to replace an existing supply and therefore avoid or minimize growth-inducing impacts, the review will need to identify the specific measures that assure the existing supply will be retired. For example, if a facility is proposed as a means to replace water currently being withdrawn from a river, the proposal should include specific measures describing how that water will remain in the river for non-consumptive purposes, and any permit issued should ensure those measures are appropriate and enforceable. For proposals meant to augment existing supplies, project review should determine whether growth related to the increased availability of water would occur within allowable limits or projections identified in Local Coastal Programs or other local or regional planning efforts. An example of how these reviews may differ is the desalination facility currently being considered at the Moss Landing Power Plant on Monterey Bay. The primary proposal would provide just enough water to replace some currently being withdrawn from the Carmel River. An alternative proposal being considered would have the facility provide much more water to serve areas of Monterey County not currently within the service district. These two proposals will undergo very different evaluations to determine their growth-inducing impacts.

Where applicable, the review should also evaluate benefits that may result from the proposed project. For example, desalination could reduce or eliminate withdrawals from surface water bodies, resulting in more natural streamflows and improved fish or wildlife habitat. If desalination is meant to replace groundwater withdrawals, it could in some areas reduce subsidence or seawater intrusion. In areas where surface or groundwater sources have been contaminated, desalination could provide an alternative source of potable water while allowing necessary treatment or remediation of the contaminated water source.

- ***Where will the water go?*** A desalination facility may be intended to provide water to a relatively confined service area with known end users, or may be meant to provide water to a more extensive and less well-defined service area and user base. Determining the growth-inducing impacts of a proposal must include a description of the service area, the maximum build-out of that area, and how much growth could be a result of the water supply provided by the facility. The complexity of this review will vary based on several issues. Review for growth-inducement and its effect on coastal resources will be simpler in cases where the service area is well defined, the distribution system is not connected to other systems, and where the level of development or build-out within the service area is known. Review will be much more complex and difficult for large-scale proposals that would provide water through a connected series of distribution systems to a much larger service area both within and outside the coastal zone. For example, desalinated water produced along the Southern California coast and distributed through the Metropolitan Water District's system could affect water supplies from Ventura to San Diego and inland as far as east as Riverside and San Bernardino Counties. Determining how the growth induced by this additional water will affect coastal resources will be challenging.

SEAWATER DESALINATION AND THE CALIFORNIA COASTAL ACT

– MARCH 2004 –

The review should consider whether the water produced is subject to delivery requirements and restrictions, long-term contracts, or other binding agreements. It may also be necessary to identify the capabilities and limits of the associated infrastructure, such as the ability of existing or proposed water pipelines to deliver water to the service area. The review may also consider whether the facility's location will result in changes to the delivery area. For example, a desalination facility built at some distance from its service area may result in pressure to provide a portion of that water supply nearer the facility. In some less developed areas, this could lead to growth outside of existing service boundaries and could provide for growth beyond levels identified in local planning efforts.

As trends towards water marketing and the potential for interbasin or even international water transfers increase, any difference in oversight over public or private facilities is likely to have more far-reaching growth-inducing consequences. Longer distance transfers also raise issues associated with determining whether local impacts to coastal resources can be mitigated by benefits that may accrue elsewhere, including some that may occur some distance from the coast.

- ***Will the development serve “coastal priority” uses?*** One concern to be addressed during review is how the water from a facility will be allocated. The Coastal Act mandates that certain types of development along the coast receive priority over other types. These include visitor and recreation facilities (in section 30213), facilities designed to enhance public opportunities for coastal recreation (section 30222), aquaculture facilities (section 30222.5), facilities serving commercial fishing and recreational boating (section 30234), and coastal-dependent development (section 30255). Without adequate public oversight, new development capable of providing its own water may be able to proceed while other higher priority development cannot, thus allowing non-priority development that includes desalination capability and reducing the ability of priority developments to occupy coastal areas. [See also Chapter 4.3.2.] Additionally, the review may consider the form of ownership (public or private) and the degree of oversight in how the facility's water supplies are allocated.
- ***Is there adequate public oversight for the facility?*** Public control of desalination facilities would generally provide more apparent mechanisms to ensure the capacity is linked to local growth management plans, goals, and priority uses, and would allow the necessary involvement by the interested public in decision-making. Public ownership is also likely to allow for a more comprehensive approach to resolving issues related to regional growth, the types of development to be considered, and the directions in which it occurs. As stated in sections 30250(a) and 30254 above, new development must be tied to the capabilities of public services and public works facilities. For proposed private desalination facilities, review under the Coastal Act is likely to require specific evaluation of whether they will incorporate a level of public oversight, decision-making, and consolidation of public interests necessary to ensure public resources are properly managed.

SEAWATER DESALINATION AND THE CALIFORNIA COASTAL ACT
– MARCH 2004 –

POTENTIAL MITIGATION MEASURES TO AVOID OR MINIMIZE GROWTH-INDUCING IMPACTS

Possible mitigation measures that will likely be evaluated to avoid or minimize impacts include:

- ***Implement local or regional water conservation and reclamation measures to reduce the need for new water projects:*** In some areas, effective water conservation and reclamation measures may, in many cases, provide as much or more water than a proposed desalination project at less cost and with fewer adverse effects. Review of a proposed project should identify measures such as these as part of the alternatives analysis done for a proposed facility.
- ***Link plant capacity to the planned level of development authorized by the certified Local Coastal Program for the area:*** Desalination plants and their accompanying water distribution system should be sized to match the planned level of development authorized by an area's certified Local Coastal Program. The design, review, and approval of proposed projects should include a description of the anticipated level of development, and should tie the permitted activity to that particular development level. This includes assessing the long-term growth-inducing potential of projects. It may also assess capacity of water delivery lines, delineation of the service area, identifying legal instruments available to provide a particular growth level in the area, and other similar measures.

This issue has been addressed in some previous Commission decisions on similar projects involving growth-inducing impacts. For example, a permit for a water supply pipeline included a condition requiring the permittee to apply for an amendment if the proposed development in the area went above a specific level.

- ***Siting plants near existing water distribution systems and energy sources:*** This may allow a desalination facility to operate using existing infrastructure for both water supply and energy, and not require additional infrastructure build-out and the growth that may be associated with such a build-out.

WHAT'S LIKELY NEEDED DURING REVIEW?

Issues that may be addressed during the review include:

- Identify service area and end users (e.g., are there binding contracts for particular areas or users for certain amounts of water?).
- Identify the types of development to be served.
- If the facility is meant to provide replacement water to allow another existing source to be "retired", what mechanisms ensure the other use is discontinued?

SEAWATER DESALINATION AND THE CALIFORNIA COASTAL ACT
– MARCH 2004 –

4.3.2 PRIORITY USES

Main Points:

- *Coastal Act review of a proposed desalination facility may need to evaluate how the facility would affect priority uses along the coast.*
- *The review for determining conformity to the Coastal Act's priority use policies is likely to differ for public or private desalination proposals.*

The Coastal Act establishes several types of priority uses in the coastal zone. The main purpose of including these in the Act is to ensure that uses strongly associated with the coast and found to be in the public interest remain viable. These types of uses and development (and the corresponding sections of the Coastal Act where they are listed) include:

- Lower-cost visitor and recreation facilities (Section 30213).
- Visitor-serving commercial recreational facilities designed to enhance public opportunities for coastal recreation (Section 30222 – this section also prioritizes those facilities over private residential, general industrial, or general commercial development, but not over agriculture or coastal-dependent industry).
- Aquaculture facilities (Section 30222.5).
- Upland areas for coastal recreation (Section 30223).
- Recreational boating and associated facilities (Section 30224).
- Commercial fishing and recreational boating facilities (Section 30234).
- Prime agricultural land (Section 30241).
- Coastal-dependent development (Section 30255).
- Priority developments must not be precluded by other development due to the limited capacity of public works facilities (Section 30254).

These designations do not mean that these are the only uses that can be located within the Coastal Zone. Part of Coastal Act review, however, may consider whether the site of a proposed development is suitable for priority uses. For a proposed desalination facility, the review may evaluate at least two aspects of priority use policies:

- *How would the proposed facility itself directly affect priority uses?* A desalination facility located on or adjacent to coastal zone sites suitable for higher-priority developments could remove or reduce land available for such developments. Desalination facilities may result in several types of adverse effects on coastal resources – visual, noise, public access, water quality, etc. – any of which, even if mitigated, could reduce the ability of priority developments to be sited nearby. This would in turn diminish the coastal uses associated with these priority developments, and may therefore be inconsistent with Coastal Act goals. For example, in a decision several years ago, the Commission determined that a desalination facility being considered in the coastal zone near the cities of Marina and Seaside and adjacent to a State Park would diminish public access and recreational opportunities in that area, and further concluded that a feasible, less environmentally damaging alternative site was available east of Highway 1 away from the shoreline area.

SEAWATER DESALINATION AND THE CALIFORNIA COASTAL ACT

– MARCH 2004 –

- ***How will the water supply provided by the facility affect priority uses?*** Coastal Act review may also consider how the water supply provided by a desalination facility might be used to either support priority uses or make them less viable. For example, if an inadequate water supply is limiting the opportunity for low-cost visitor serving facilities, or coastal agriculture, a desalination facility may be able to provide the water necessary for those uses. In other cases, the water from a desalination facility may be too expensive for such priority uses and only affordable by higher-cost visitor serving facilities. The increased development pressures on these areas may result in non-priority development, especially if the desalination water supply is more costly than certain priority uses can afford – for example, agriculture and low-cost visitor serving facilities are not likely to be able to afford water from a desalination facility when a high-cost visitor facility could.

Support for priority uses could also be affected by whether the water is provided by a public or private facility. In areas where development is limited by the available water, private facilities that provide their own water might be able to proceed while other higher priority developments that do not have the ability to provide their own water might not. A private, non-priority development could therefore override Coastal Act preferences for priority coastal uses or might not be subject to water allocation decisions made by a local public water purveyor. Because desalination remains a relatively costly process, a development's ability to provide its own desalinated water may be largely based on financial considerations rather than whether the proposed development is recognized as a priority development for coastal areas. A lower-cost visitor and recreation facility, for instance, may not be able to compete with the ability of a higher-cost facility to provide its own water, and so a coastal site suitable for either type of development may end up used by the latter at the expense of the former. One other consequence of this issue could show up during difficult financial times, in that a private development dependent on its own water supply may, for various reasons, no longer be able to afford the costs of desalination and instead increase the burden on the local public water purveyor. This additional burden could further limit the ability of public agencies to allocate water or land to priority coastal uses. A similar resource-allocation issue may arise due to the relatively high electrical demand associated with desalination, in that the demand from a desalination facility used by a non-priority development could limit or preclude the ability of local electrical supplies to support priority developments.

Public ownership and oversight of desalination facilities, especially in areas with certified LCPs, is more likely to ensure that water allocations will occur in a manner consistent with the priority developments identified in the Coastal Act and in the LCP. Allocations from public facilities are likely to be subject to more ongoing public review, whereas allocations from private facilities may be primarily market driven and might not adequately reflect Coastal Act priorities. This difference in how public or private entities might allocate water is likely to be moderated in areas where the state Public Utility Commission has provided exclusive retail rights to a municipal water district. In these areas, a private desalination facility would be able to act only as a water wholesaler and sell only to the water district where the allocation decisions would be made.

SEAWATER DESALINATION AND THE CALIFORNIA COASTAL ACT
– MARCH 2004 –

4.3.3 PUBLIC ACCESS AND RECREATION

A primary focus of the Coastal Act is its extensive provision for public access to the California coast. The Act includes a number of policies related to public access and recreation, most of which provide strong support for the public's ability to use and enjoy coastal areas (see the main policies listed on the next two pages).

Desalination facilities proposing to locate near the coast will likely require assessment of their effects on public access to the shore and their potential impacts on recreation. This review generally evaluates both relatively short-term effects, such as those related to construction, and the long-term effects related to a facility's ongoing operations. Review may include consideration of a range of issues from how the facility's location affects parking near the coast to how the facility's discharge may affect water-based recreation.

Public access and recreation issues may also be incorporated into the review of other Coastal Act policies – for example, projects proposing shoreline protection structures must generally provide information not only about the site conditions related to erosion and coastal processes, but also provide information about how the structure could affect public access to that portion of the shoreline. For facilities proposing to co-locate within the boundaries of an existing power plant or industrial site, the review may be less extensive, although it will likely need to at least identify incremental changes to the existing impacts that may be caused by the addition of the desalination facility.

WHAT'S LIKELY NEEDED DURING REVIEW?

Identification of short-term impacts, such as:

- Changes in parking and traffic
- Temporary beach closures due to construction.
- Project timing (e.g., will there be closures or traffic and parking restrictions during the peak times of visitor use?).

Identification of long-term impacts, such as:

- Effects of facility location on access.
- Effects of facility operation on recreation.

SEAWATER DESALINATION AND THE CALIFORNIA COASTAL ACT
- MARCH 2004 -

PRIMARY COASTAL ACT POLICIES RELATED TO PUBLIC ACCESS AND RECREATION:

Public Access policies:

Section 30210: In carrying out the requirement of Section 4 of Article X of the California Constitution*, maximum access, which shall be conspicuously posted, and recreational opportunities shall be provided for all the people consistent with public safety needs and the need to protect public rights, rights of private property owners, and natural resource areas from overuse.

Section 30211: Development shall not interfere with the public's right of access to the sea where acquired through use or legislative authorization, including, but not limited to, the use of dry sand and rocky coastal beaches to the first line of terrestrial vegetation.

Section 30212:

(a) Public access from the nearest public roadway to the shoreline and along the coast shall be provided in new development projects except where:

- (1) It is inconsistent with public safety, military security needs, or the protection of fragile coastal resources,
- (2) Adequate access exists nearby, or,
- (3) Agriculture would be adversely affected. Dedicated accessway shall not be required to be opened to public use until a public agency or private association agrees to accept responsibility for maintenance and liability of the accessway.

(b) For purposes of this section, "new development" does not include:

- (1) Replacement of any structure pursuant to the provisions of subdivision (g) of Section 30610.
- (2) The demolition and reconstruction of a single-family residence; provided, that the reconstructed residence shall not exceed either the floor area, height or bulk of the former structure by more than 10 percent, and that the reconstructed residence shall be sited in the same location on the affected property as the former structure.
- (3) Improvements to any structure which do not change the intensity of its use, which do not increase either the floor area, height, or bulk of the structure by more than 10 percent, which do not block or impede public access, and which do not result in a seaward encroachment by the structure.
- (4) The reconstruction or repair of any seawall; provided, however, that the reconstructed or repaired seawall is not a seaward of the location of the former structure.
- (5) Any repair or maintenance activity for which the commission has determined, pursuant to Section 30610, that a coastal development permit will be required unless the commission determines that the activity will have an adverse impact on lateral public access along the beach.

As used in this subdivision "bulk" means total interior cubic volume as measured from the exterior surface of the structure.

(c) Nothing in this division shall restrict public access nor shall it excuse the performance of duties and responsibilities of public agencies which are required by Sections 66478.1 to 66478.14, inclusive, of the Government Code and by Section 4 of Article X of the California Constitution*.

Section 30212.5: Wherever appropriate and feasible, public facilities, including parking areas or facilities, shall be distributed throughout an area so as to mitigate against the impacts, social and otherwise, of overcrowding or overuse by the public of any single area.

Section 30213: Lower cost visitor and recreational facilities shall be protected, encouraged, and, where feasible, provided. Developments providing public recreational opportunities are preferred. The commission shall not: (1) require that overnight room rentals be fixed at an amount certain for any privately owned and operated hotel, motel, or other similar visitor-serving facility located on either public or private lands; or (2) establish or approve any method for the identification of low or moderate income persons for the purpose of determining eligibility for overnight room rentals in any such facilities.

SEAWATER DESALINATION AND THE CALIFORNIA COASTAL ACT

– MARCH 2004 –

Section 30214:

(a) The public access policies of this article shall be implemented in a manner that takes into account the need to regulate the time, place, and manner of public access depending on the facts and circumstances in each case including, but not limited to, the following:

- (1) Topographic and geologic site characteristics.
- (2) The capacity of the site to sustain use and at what level of intensity.
- (3) The appropriateness of limiting public access to the right to pass and repass depending on such factors as the fragility of the natural resources in the area and the proximity of the access area to adjacent residential uses.
- (4) The need to provide for the management of access areas so as to protect the privacy of adjacent property owners and to protect the aesthetic values of the area by providing for the collection of litter.

(b) It is the intent of the Legislature that the public access policies of this article be carried out in a reasonable manner that considers the equities and that balances the rights of the individual property owner with the public's constitutional right of access pursuant to Section 4 of Article X of the California Constitution*. Nothing in this section or any amendment thereto shall be construed as a limitation on the rights guaranteed to the public under Section 4 of Article X of the California Constitution.

(c) In carrying out the public access policies of this article, the commission and any other responsible public agency shall consider and encourage the utilization of innovative access management techniques, including, but not limited to, agreements with private organizations which would minimize management costs and encourage the use of volunteer programs.

Recreation policies:

Section 30220: Coastal areas suited for water-oriented recreational activities that cannot readily be provided at inland water areas shall be protected for such uses.

Section 30221: Oceanfront land suitable for recreational use shall be protected for recreational use and development unless present and foreseeable future demand for public or commercial recreational activities that could be accommodated on the property is already adequately provided for in the area.

Section 30222: The use of private lands suitable for visitor-serving commercial recreational facilities designed to enhance public opportunities for coastal recreation shall have priority over private residential, general industrial, or general commercial development, but not over agriculture or coastal-dependent industry.

Section 30222.5: Ocean front land that is suitable for coastal dependent aquaculture shall be protected for that use, and proposals for aquaculture facilities located on those sites shall be given priority, except over other coastal dependent developments or uses.

Section 30223: Upland areas necessary to support coastal recreational uses shall be reserved for such uses, where feasible.

Section 30224: Increased recreational boating use of coastal waters shall be encouraged, in accordance with this division, by developing dry storage areas, increasing public launching facilities, providing additional berthing space in existing harbors, limiting non-water-dependent land uses that congest access corridors and preclude boating support facilities, providing harbors of refuge, and by providing for new boating facilities in natural harbors, new protected water areas, and in areas dredged from dry land.

** Note: Per the references in Sections 30210, 30212(c), and 30214(b), California Constitution, Article X, Section 4 states: "No individual, partnership, or corporation, claiming or possessing the frontage or tidal lands of a harbor, bay, inlet, estuary, or other navigable water in this State, shall be permitted to exclude the right of way to such water whenever it is required for any public purpose, nor to destroy or obstruct the free navigation of such water; and the Legislature shall enact such laws as will give the most liberal construction to this provision, so that access to the navigable waters of this State shall be always attainable for the people thereof."*

SEAWATER DESALINATION AND THE CALIFORNIA COASTAL ACT
- MARCH 2004 -

[this page intentionally blank]

CHAPTER 5: COASTAL ACT ENVIRONMENTAL POLICIES RELATED TO DESALINATION

Chapter Sections:

- 5.1 Potential Impacts on the Marine Environment (including the effects of intakes, outfalls, and facilities co-located with coastal power plants)**
- 5.2 Other Coastal Act Environmental Policies (including Spill Prevention and Response, Hazards, Upland Habitats, and Environmentally Sensitive Habitat Areas (ESHAs), and Visual and Scenic Resources)**
- 5.3 Cumulative Impacts**

This chapter describes the primary environmental policies in the Coastal Act that will likely need to be addressed during review of proposed desalination facilities. The chapter's primary focus is on the Coastal Act's marine biology and water quality policies. It discusses how desalination facilities can adversely affect marine biological resources and ocean water quality, and discusses how facilities are likely to be evaluated as part of coastal development permit review. It discusses separately the effects associated with intakes and those associated with outfalls, and describes several unique issues associated with desalination facilities proposing to co-locate with coastal power plants that are cooled with ocean water.

The chapter then more briefly describes several other Coastal Act environmental policies that may be involved in reviewing proposed desalination facilities, including spill prevention, hazard prevention, and environmentally sensitive habitat areas. These policies are dealt with more briefly since reviewing a desalination facility's conformity to those policies will likely be similar to the review done for many other types of proposed development along the coast, in there will be similar issues and concerns about how a proposal may affect public access or visual and scenic resources, how to prevent hazardous conditions and avoid spills, determining the effect on nearby sensitive areas, and the like. This chapter provides only a general discussion of how a desalination facility might affect these coastal resources – this should not be construed as treating these coastal resources as less important; it means only that they are likely to be evaluated in ways similar to many other developments that have undergone review under the Coastal Act.

5.1 POTENTIAL IMPACTS ON THE MARINE ENVIRONMENT

Main Points:

- *Desalination facilities can cause significant adverse effects on marine organisms unless properly designed, sited, and operated.*
- *Reviewing desalination intakes and outfalls – both open-water and subsurface – will require evaluating alternative locations and mitigation measures that avoid or minimize adverse effects on marine biological resources and that, where feasible, restore those resources.*
- *Desalination facilities proposing to co-locate with coastal power plants raise unique issues with respect to conformity to some Coastal Act policies.*

SEAWATER DESALINATION AND THE CALIFORNIA COASTAL ACT
– MARCH 2004 –

Seawater is not just water, but habitat. It provides the matrix within which innumerable organisms live, and serves a critical role in everything from the food web to the climate. Although there is a vast amount of seawater on the planet, and along the California coast, it is subject to significant adverse effects at the local or regional scale that can diminish its ecosystem value and its value to society. Common examples of these impacts range from the loss of species diversity to a decline in the number of organisms in a given area to beach closures caused by bacterial contamination in the water.

The two components of desalination with the most potential for causing direct adverse impacts to marine life and water quality are the facility's seawater intake and its discharge. The intake system can cause significant levels of impingement and entrainment²³ that can degrade the local or regional marine ecosystem, and the facility's discharge of brine and possibly other contaminants can be harmful to marine life. The severity of these impacts can be mitigated, and in some cases avoided entirely, through proper facility design, siting, and operation. Without proper measures, however, the impacts can be substantial. For example, a desalination facility producing 50 million gallons per day of drinking water would pull in at least 100 million gallons per day of seawater and discharge at least 50 million gallons per day of highly saline brine²⁴. Since each gallon of seawater can contain hundreds of organisms, this amount of water could have significant adverse effects on marine life and water quality at the local or regional level.

The report first discusses the impacts associated with the intake – entrainment and impingement – and then discusses the impacts associated with the discharge – primarily increased salinity and the presence of chemicals or various contaminants. It then discusses some unique issues associated with desalination facilities proposing to co-locate with coastal power plants, and how the review of those facilities may be different from the review of projects proposed to be sited independently. Of the current proposals along the California coast, the largest are those considering co-location, and while this approach has some advantages, it also raises significant issues for Coastal Act conformity. All three of these sections emphasize the need to evaluate alternatives and mitigation measures that would avoid or minimize the associated effects.

Along with the concerns raised about its potential to cause significant adverse impacts to water quality and marine biology, there is recognition that desalination could result in some beneficial changes. One possible benefit could come by using desalinated seawater to replace water withdrawals from coastal streams. Another possible benefit, on a more conceptual level, could be that public perception and practices could change if seawater were to be seen as drinking

²³ These terms are discussed in more detail later in this chapter. Impingement occurs when fish or larger marine animals are pulled into a seawater intake and are trapped against screens within the intake. They die or are injured due to water pressure, abrasion, thermal effects, or other causes. Entrainment occurs when an intake draws in small organisms such as plankton, larvae, fish eggs, and other animals along with seawater. These organisms are small enough to be pulled through the intake screens, and they are then heated or crushed as they are drawn through the facility. Entrainment is considered to cause 100% mortality to the entrained organisms, which occurs either as the organisms pass through the facility or shortly after they are discharged alive but injured.

²⁴ Reverse osmosis facilities generally operate at efficiencies between 15 and 50 percent, so for every gallon of drinking water they produce, they may need from one to about six gallons of seawater and can discharge from one to about six gallons of effluent. A 50 million gallon per day facility, for example, would pull in and discharge from 100 to 300 million gallons per day (although the lower the efficiency, the lower the salinity in the discharge).

SEAWATER DESALINATION AND THE CALIFORNIA COASTAL ACT
– MARCH 2004 –

water – this could lead to more thought and care about how the ocean is treated, what materials are allowed to or prevented from running into the ocean, and a stronger sense of connectedness between the coast and everyday practices. On a more pragmatic note, this could also result in lower treatment costs if the seawater being desalted was cleaner than it might otherwise be.

PRIMARY APPLICABLE COASTAL ACT POLICIES

The primary Coastal Act policies related to marine biological resources and water quality are:

Section 30230:

Marine resources shall be maintained, enhanced, and where feasible, restored. Special protection shall be given to areas and species of special biological or economic significance. Uses of the marine environment shall be carried out in a manner that will sustain the biological productivity of coastal waters and that will maintain healthy populations of all species of marine organisms adequate for long-term commercial, recreational, scientific, and educational purposes.

Section 30231:

The biological productivity and the quality of coastal waters, streams, wetlands, estuaries, and lakes appropriate to maintain optimum populations of marine organisms and for the protection of human health shall be maintained and, where feasible, restored through, among other means, minimizing adverse effects of waste water discharges and entrainment, controlling runoff, preventing depletion of ground water supplies and substantial interference with surface water flow, encouraging waste water reclamation, maintaining natural vegetation buffer areas that protect riparian habitats, and minimizing alteration of natural streams.

These policies establish strong standards for protecting water quality and marine life. They require not only that biological productivity be maintained and enhanced, but that where feasible, it be restored. They also specifically require sustained biological productivity and minimization of entrainment-related effects. By requiring restoration where it is feasible, these policies recognize that coastal development permit decisions may be based on, and mitigation required for, measures that go beyond just maintaining what may be a low or poorly functioning baseline condition. Reviewing proposed desalination facilities will likely require determining an appropriate environmental baseline and evaluating appropriate alternatives and mitigation measures that avoid or minimize adverse effects to the marine community and water quality.

Other Coastal Act policies relate to protecting water quality or marine biological resources either directly or indirectly. These include Sections 30234.5, which requires supporting the marine environment for commercial and recreational fishing, and recognizes the role of marine life not only as part of the environment, but as an important part of the state's economy:

The economic, commercial, and recreational importance of fishing activities shall be recognized and protected.

SEAWATER DESALINATION AND THE CALIFORNIA COASTAL ACT
– MARCH 2004 –

They also include Section 30220, which helps establish the need to protect water quality to allow for recreation:

Coastal areas suited for water-oriented recreational activities that cannot readily be provided at inland water areas shall be protected for such uses.

Another Coastal Act policy that may significantly affect the design and operation of some facilities is the fill policy discussed in Chapter 2.2.2. The consequences of placing fill for intakes and outfalls deemed coastal-dependent may require design changes to ensure adverse effects to marine life and water quality are minimized to the maximum extent feasible.

In addition to the above policies, the recently completed work of the state’s Desalination Task Force included a number of findings and recommendations related to protection of the marine environment. Among its recommendations are:

Ensure seawater desalination projects are designed and operated to avoid, reduce or minimize impingement, entrainment, brine discharge and other environmental impacts. Regulators, in conjunction with the public, should seek coordinated mechanisms to mitigate unavoidable environmental impacts.

Where feasible and appropriate, utilize wastewater outfalls for blending/discharging desalination brine/concentrate.

In addition to review by the Coastal Commission for conformity to policies specific to the Coastal Act, other agencies may be involved in reviewing different aspects of a proposed desalination facility, including the state and regional water quality boards, the Department of Fish and Game, and others. The Coastal Act policies, for example, supplement and support the requirements of the California Ocean Plan, which the state and regional boards help implement. The Ocean Plan includes narrative and numeric standards for allowable discharges, and identifies “Areas of Special Biological Significance” in which discharges are prohibited or curtailed. The complementary relationship between the various agencies, their likely role in reviewing desalination proposals, and the potential for coordination among them is discussed in Chapter 6.

5.1.1 EFFECTS OF DESALINATION INTAKES ON MARINE BIOLOGY AND WATER QUALITY

The most significant direct adverse environmental impacts of a desalination facility are likely to be caused by its intake. These impacts also can be completely eliminated by using alternative designs and mitigation measures.

Most desalination facilities currently under consideration are proposing to use an open water intake, which pulls in water directly from the water column. The primary adverse effects of these types of intakes are *impingement* and *entrainment*. It is relatively easy to avoid or reduce impingement; entrainment, however, requires more substantial effort to adequately mitigate.

SEAWATER DESALINATION AND THE CALIFORNIA COASTAL ACT
– MARCH 2004 –

IMPINGEMENT

Impingement refers to causing injury or death to marine organisms by pulling them into an intake system where they cannot escape due to high water velocity, the length of the intake pipe, or other aspects of a facility's design, and they are eventually trapped against a fish screen. Rates of impingement are primarily a function of the intake's location and the velocity of water being drawn into the intake.

ENTRAINMENT

Entrainment refers to the death or injury of the relatively small marine organisms, such as plankton, larvae, and fish eggs, that are too small to be screened out by fish screens and are pulled through the screens into the processing system of a facility using seawater. Any open water intake will result in some level of entrainment. Entrainment is most commonly associated with thermal power plants (coastal or inland) that use once-through cooling systems, but also occurs in other types of facilities using open water intakes. Entrained organisms are killed due to high pressures or temperatures within the power plants, or in the case of desalination facilities, due to the high pressure when water is forced against filters or membranes.

Unlike impingement, which is relatively easy to mitigate through structural or operational changes to open water intakes, mitigating entrainment requires more significant measures. While the significance of both impacts is related to the location of an intake, impingement rates are primarily a function of intake velocity, while entrainment is more closely linked to the overall volume of water drawn into a facility.

Most studies and findings related to entrainment have been done to determine the effects of power plant once-through cooling systems on marine biology. Coastal power plants using hundreds of millions of gallons per day of ocean water can entrain and kill trillions of organisms annually and can cause substantial changes to the local or regional biological community. The mortality rate for entrainment in power plants is considered to be 100%, due to the thermal effects and pressure changes experienced by the organisms. The mortality rate for desalination facilities would be essentially the same, since the seawater they use is forced through filters or membranes at high pressures to remove particles, including the small organisms that may be in the water.

The most common way to determine entrainment effects is by conducting what is known as a "316(b)" study, named after the section of the federal Clean Water Act. These studies help determine whether power plants are in compliance with the Clean Water Act requirement to minimize adverse environmental impacts by using the "Best Technology Available." The study involves taking water samples at various depths over the course of a year at both the intake site and a nearby control site, identifying the organisms in these samples, and then using various modeling techniques to determine the types and numbers of species that would be affected and the effect on the local or regional population of marine organisms. The results help determine what alternatives and mitigation measures are needed to avoid or minimize impacts.

SEAWATER DESALINATION AND THE CALIFORNIA COASTAL ACT
– MARCH 2004 –

Three of the seventeen power plants along the California coast (Moss Landing, Morro Bay, and Diablo Canyon) recently completed 316(b) or equivalent entrainment studies, and a study is currently underway at Huntington Beach. These studies were done as part of the California Energy Commission's review of proposed power plant upgrades and installation of new power generating units. The studies helped update previous studies done in the 1970s and 80s and established the existing baseline conditions at these facilities for purposes of their recent review. The rest of the coastal power plants use studies also done about twenty-five years ago. These older studies will need to be updated to address proposed changes at these power plants, such as co-location of a desalination facility (see Chapter 5.1.3 for additional discussion). These older studies are out-of-date for several reasons – they describe physical or biological conditions that may no longer exist, they were conducted using sampling techniques and modeling approaches that do not reflect our current understanding of science and marine biology, and some were done at locations far removed from the site of the power plant that may not reflect actual conditions at the impact site. The state Desalination Task Force also recognized the need to update these studies in one of its findings:

The appropriate State regulatory agencies²⁵ have indicated that the siting of a new desalination facility, which utilizes any new or existing open water feedwater intakes, will require a current assessment of entrainment and impingement impacts as part of the environmental review and permitting process.

An entrainment study may be fairly extensive and may be required by several different agencies as part of their permit reviews. Additionally, the findings of these types of studies may result in substantial changes to how a proposed facility is designed, sited, or operated. Therefore, it would be more effective and efficient for the studies to be done as part of a proposal's initial environmental review using protocols agreed upon by the various agencies. This would allow entrainment impacts to be identified early in project review and allow necessary mitigation measures to be incorporated into decision-makers' deliberations.

ALTERNATIVES AND MITIGATION MEASURES

There are two main approaches to avoid or minimize entrainment and impingement impacts. The first is to use a subsurface intake, such as a beach well or infiltration gallery, which would allow these impacts to be avoided entirely. Where subsurface intakes are infeasible, open water intakes may be designed and located so that entrainment and impingement are reduced, but usually not entirely eliminated.

Subsurface intakes: The primary way to avoid both impingement and entrainment is to use a subsurface intake, such as a beachwell or infiltration gallery, rather than an intake that draws in water directly from the water column. Because the way a desalination facility takes in water has the most potential to affect marine biology, the feasibility of this alternative should be one of the first considered during the conceptual design stage of a proposal, and will also likely be evaluated during environmental review.

²⁵ State agencies represented on the Task Force included the Coastal Commission, the State Water Resources Control Board, a Regional Water Quality Control Board, the Department of Fish and Game, and the Bay Conservation and Development Commission.

SEAWATER DESALINATION AND THE CALIFORNIA COASTAL ACT
– MARCH 2004 –

Subsurface intakes, such as beach wells or infiltration galleries, are placed below the water column and pull in seawater through the overlying substrate, which acts as a natural filter. At least four of the existing desalination facilities along the coast use beach wells as their feedwater system, and at least six of the currently proposed facilities are considering using beach wells. Here in California, the largest existing subsurface intake for a desalination facility takes in less than one million gallons per day, but elsewhere in the world, they provide up to 25 million gallons per day.

The amount of water that can be taken in by subsurface intakes is a function of the type of substrate, its permeability, and other geotechnical characteristics. Properly designed subsurface systems are likely to completely eliminate impingement and entrainment impacts. Some can be installed so they are completely below grade at or near beach areas, and some can be located at some distance inland from the shoreline if water is available below the surface due to naturally occurring or induced seawater intrusion. Designed with appropriate intake velocities and installed at the proper depth within the substrate, beach wells or infiltration galleries can operate with little, if any, noticeable effect on local marine life.

Subsurface intakes may offer additional operational advantages, such as reduced chemical use and reduced operating costs. The natural filtering effect of the overlying substrate may provide a buffer to changes in water quality due to storms or runoff. It may also provide some part of the pre-treatment needed before the seawater goes through the desalination filters or membranes, thus eliminating part of the chemical or physical treatment that would otherwise be required. While subsurface intakes may have higher initial construction costs, they may result in long-term operational savings due to their having fewer pre-treatment and chemical requirements. They may also be able to operate during times when facilities with open water intakes would have to shut down due to water conditions.

Additionally, there is some research available that suggests wells used to dewater areas below a beach may provide some degree of shoreline stabilization²⁶. While currently inconclusive, the research suggests that beach wells may in some locations increase shoreline stability or accretion rates, although it appears to depend on a number of site-specific characteristics related to the depth to groundwater, presence of a coastal aquifer, amount of sediment transport, and others.

Subsurface intakes may not be feasible in all locations. They may not work well in areas where the substrate is silt, clay, or unfractured rock. In areas with sandy substrates, the sand should be relatively stable or deep enough to the intake is not exposed during seasonal sand movement or storms, and should be permeable enough to allow seawater to be pumped through to the facility. In some areas with less permeability, larger infiltration galleries or multiple beach wells may be needed to pull in the desired amount of water. However, even in some areas where the existing substrate may make a subsurface intake infeasible, an intake could be designed with an artificial

²⁶ See, for example:

Turner, Ian L. and Stephen P. Leatherman. Beach Dewatering as a 'Soft' Engineering Solution to Coastal Erosion – A History and Critical Review, Journal of Coastal Research, Fall 1997.

– and –

Waterways Experiment Station, U.S. Army Corps of Engineers. Field Evaluation/Demonstration of a Multisegmented Dewatering System for Accreting Beach Sand in a High-Wave-Energy Environment. July 1988.

SEAWATER DESALINATION AND THE CALIFORNIA COASTAL ACT
– MARCH 2004 –

substrate around the intake opening. For example, adding a concrete box around the opening of a surface intake and filling it with sand or other suitable material could transform an otherwise high entrainment intake to one with little or no entrainment. This contained cover system would likely require more extensive design considerations and some ongoing monitoring, but may still provide a feasible method to avoid all or most entrainment impacts.

Open water intakes: Where subsurface intakes are determined to be infeasible, the review of a facility proposing to use an open water intake may require evaluation of numerous measures to reduce adverse effects and may need to consider compensatory mitigation measures. For new or modified intakes, this will likely require review under both the Coastal Act's marine biology/water quality policies and its fill policy. [See Chapter 2.2.2.]

Mitigation measures to address impingement effects may be different from those meant for entrainment effects. Three effective mitigation measures for impingement are:

- **Low intake velocity rate:** The amount of impingement at a facility is largely a function of the intake water velocity. When intake velocities are kept below about 0.5 feet per second, fish and other organisms are generally able to avoid being pulled in, or if they are pulled in, can generally swim against the current and escape. The rate of 0.5 fps is considered a "Best Technology Available" for purposes of Clean Water Act compliance. Facilities can be designed and operated to keep the velocity at or below 0.5 fps through a combination of pumping rates and intake design.
- **Velocity caps:** Fish are generally better able to detect a horizontal change in water velocity than a vertical change. Many intake structures were built with openings that pull water in from above, causing a change in velocity that fish cannot sense as well. Velocity caps, which are structures usually made of concrete placed over the intake with a gap between the cap and the intake, change the predominant intake water flow from vertical to horizontal. Impingement rates often drop significantly after a velocity cap is added, and once installed, they require very little ongoing maintenance.
- **Screens, traveling screens, and fish return systems:** Screens are generally sized to prevent fish from entering an intake system while still allowing adequate water flow. Traveling screens allow fish to be moved out of an intake system, often unharmed. They are generally built at the landward end of an intake pipe, often in a forebay area, and are often built in conjunction with a fish return system, which routes fish and part of the intake water back to the source waterbody. These systems can be fairly effective in reducing impingement, but require ongoing maintenance and personnel to operate them.

Mitigating entrainment effects is usually more difficult. The measures above are generally not effective in minimizing entrainment, since the organisms subject to entrainment are too small to be screened out without significantly reducing water flows into the intake system, and since they are generally less responsive to changes in water velocity. Other structural measures, such as aquatic filter barriers, are still considered experimental in the marine environment and may cause substantial impacts on their own. Therefore, the primary mitigation approaches to minimize entrainment impacts have been to first determine the least environmentally damaging location for an intake and to then develop compensatory mitigation to make up for the lost marine life.

SEAWATER DESALINATION AND THE CALIFORNIA COASTAL ACT

– MARCH 2004 –

Determining an appropriate location is necessary to reduce both entrainment and impingement. This may require not only an entrainment study, but a study of currents, wave, and tidal patterns and their relationship to nearby biologically important areas to use in designing the entrainment study. The rates and types of entrainment vary significantly based on the location and depth of the intake, as well as where the intake is sited in relation to areas of biological importance (e.g., at the mouth of a bay or estuary, near kelp beds, hard bottom habitat, or areas of upwelling, etc.). Even after selecting the least environmentally damaging location and incorporating structural mitigation measures, an open water intake has the potential to cause significant entrainment effects, which in turn could require compensatory mitigation. Compensatory mitigation is usually the last and least desired form of mitigation considered as part of “mitigation sequencing”, which requires first that adverse effects be avoided and then minimized; then that the affected environment be restored; and finally that impacts be compensated for by providing a replacement or substitute resource or habitat. In the past, forms of mitigation have included fish hatcheries, fishing limits, habitat enhancement, or other similar “out-of-kind” or offsite measures.

Determining the necessary level of mitigation for most proposals would be based in part on results of a 316(b) study or its equivalent. Developing such measures would require an extensive evaluation of the impacts and determination of both the feasibility and effectiveness of making up for the lost marine organisms. In some cases where significant entrainment effects remain even after all structural mitigation measures have been provided, the impacts may be so extensive as to make compensatory mitigation insufficient to adequately address the problem. For example, a large facility pulling in tens of millions of gallons of water per day may cause impacts that require dozens or hundreds of acres of habitat to replace the lost organisms or lost biological functions. It is likely to be challenging to identify enough nearby suitable areas to create, restore, or enhance the necessary amount of habitat value, and for some projects, this may result in denial of a permit.

An additional and more recent concern with using compensatory mitigation for entrainment impacts is due to a federal circuit court decision regarding cooling water intakes for power plants. The court ruled that the Clean Water Act limits the use of such measures as mitigation for those intake systems (see additional discussion in Chapter 5.1.3).

Another mitigation approach to reduce entrainment that is still under development is the use of aquatic filter barriers. These systems consist of fine-screened mesh placed around the area of an intake. To be effective in screening out organisms and at the same time allow enough water through, some of these filters at larger facilities must be up to several hundred feet long. While they have seen some use in riverine environments, they have not yet been proven effective in the ocean environment. Additionally, due in part to their size, they create additional concerns that would have to be addressed during review, including how they affect other uses in the water such as navigation, and what would happen if they were to break away from their moorings.

One additional option that may be worthwhile is to retrofit an open water intake so that it becomes a subsurface intake. This could be done by constructing a structure around the intake opening that is filled with sand, cobble, or other material that prevents or reduces entrainment.

SEAWATER DESALINATION AND THE CALIFORNIA COASTAL ACT
– MARCH 2004 –

WHAT'S LIKELY NEEDED DURING REVIEW?

Evaluate the feasibility of subsurface intakes: Given the potentially significant entrainment impacts caused by open water intakes, this will likely be one of the main parts of reviewing proposed desalination facilities. The default intake design should be one that does not cause entrainment – that is, a subsurface intake. The applicant for a proposed facility will likely bear the burden of proof as to whether a subsurface intake is feasible.

The review may require information such as:

- ***A bathymetric survey*** of proposed intake locations and sub-bottom profiles showing location and thickness of sand cover or other substrate over bedrock.
- ***Results of sediment core samples***, including grain size, vertical and horizontal transmissivity, the presence or absence of impermeable layers, etc.
- ***Written and graphic descriptions of historic and current seasonal beach profiles*** in the area of a proposed intake, including post-storm profiles.
- ***Cost estimates and comparisons*** for constructing and operating surface and subsurface intakes. This should include an evaluation of the operating cost advantages that may accrue due to desalination facilities that use subsurface intakes requiring less pre-treatment than those that use open-water intakes.
- ***Examination of regional sediment transport patterns***, sediment sources and sinks, and an analysis of the anticipated long-term stability of the substrate that would be used for the intakes.
- ***Monitoring plan*** for ensuring stability of sand cover.
- ***Mitigation plan*** for potential sand loss (e.g., augment sand cover, deepen well, reduce intake velocity, etc.).

In addition, where a standard subsurface intake is found to be infeasible, or in some cases, when considering a retrofit of an existing open water intake, evaluate the potential for constructing and maintaining artificial cover at the intake location by using a contained cover system with sand, gravel, or cobble.

For open water intakes, determine the least environmentally damaging location and mitigate the remaining entrainment and impingement effects: Where subsurface intakes are determined to be infeasible, review will likely require several studies to determine what available location is least damaging and what entrainment effects would still occur. The default protocols for an entrainment study are those used in the 316(b) studies, though in some cases, different study parameters may be proposed. In some cases, the review may be able to use other recent and local entrainment data – for example, a recently completed 316(b) study at a nearby site, if applicable to the proposed desalination site. Other studies similar to the ones listed above for subsurface intakes may be needed to identify locations with suitable substrates to support a pipeline, acceptable sand movement and deposition patterns, and the like.

SEAWATER DESALINATION AND THE CALIFORNIA COASTAL ACT
– MARCH 2004 –

Review should also evaluate potential structural and operational measures, including:

- **Velocity caps:** The intake structure should be designed so that water is pulled in horizontally rather than vertically to allow fish to better sense the intake.
- **Velocity rates:** The facility should be designed so that the size of the pipeline and the pumps result in a water velocity of less than 0.5 feet per second.
- **Screens:** These may include various types of screening devices, based on the type of impingement impact identified for a facility. For example, a facility with a location and design that results in very little impingement and no impingement of sensitive species may have fewer concerns about screening than a facility with more significant impingement impacts.
- **Compensatory mitigation proposals:** Proposed compensatory mitigation measures may include a wide range of approaches – from fish hatcheries to habitat replacement to preservation of various types of areas – depending on the effects being mitigated and the available mitigation options. Proposed measures should consider such elements of a mitigation plan as performance standard, contingencies for possible problems or failure of a particular measure, and others.

All these mitigation measures should be developed in conjunction with the various regulatory agencies involved in reviewing, permitting, or monitoring the facility. Some measures that may be more desired by the proponent – for example, certain compensatory mitigation measures – may be less acceptable to various agencies, so these issues should be worked out early in the project review stage.

5.1.2 EFFECTS OF DESALINATION DISCHARGES ON MARINE BIOLOGY AND WATER QUALITY

The desalination process results in an effluent that is high in salts and that may contain various contaminants, such as chemicals or cleaning compounds. The discharge also carries with it what may be a large volume of biomass made up of the entrained organisms that were drawn through the facility. Each of these constituents of the discharge is discussed below. There are also likely to be other types of impacts when desalination discharges are combined with other discharges from coastal power plants, wastewater treatment facilities, or others types of facilities (see the discussion in Section 5.1.3 of issues related to co-located desalination facilities).

HIGH SALINITY

The ambient salinity of seawater varies due to seasonal changes, upwellings, or other natural phenomena. Salinity in the Pacific Ocean off California, for example, averages about 33 parts per thousand, with a typical variation of about plus or minus 10%. The discharge from a desalination facility may locally increase salinity levels by up to 100%, or about double the normal salinity level for seawater. Local marine species are usually adapted to an area's natural salinity levels, but few, if any, are likely to be adapted to the increased salinity of a desalination discharge. These species may also be adapted to the natural variation in salinity that occurs seasonally or due to natural phenomena such as upwellings or freshwater inputs, but they may not be adapted to sudden exposure of those same levels when not caused by natural event out of season – for example, an organism may be able to handle a gradual 10% salinity increase on a seasonal basis but not sudden exposure to a plume with salinities of 10% above ambient conditions. Even where a higher salinity level does not kill organisms directly, it may have sublethal effects that stress them so that they are more susceptible to other stressors, such as increased levels of other pollutants. Further, organisms may be sensitive to different salinity levels based on their life stage – for instance, an adult fish may not be harmed by a higher salinity concentration or may be able to swim away from it, whereas the eggs, larvae, or juveniles of the same species may be harmed at the same concentration.

CHEMICALS OR CLEANING COMPOUNDS

Seawater desalination facilities require a variety of chemicals and compounds to treat the water, clean the desalting equipment, and prepare the desalted water for distribution through the water supply system. Many of these compounds are neutralized or removed from the waste stream before being discharged, though some may remain. Chemicals used during the desalination process included chlorine, ozone, or other biocides, various coagulants, acids, antiscalants, and others. Additionally, some materials used in the pipes, filters, or other structural elements of a desalination facility may corrode during the desalination process and add metals or other compounds to the discharge stream. Finally, compounds or elements that occur naturally in the water column, or that may be present due to pollution, will be concentrated during the desalination process and may be discharged at levels up to twice the concentration in the source water.

SEAWATER DESALINATION AND THE CALIFORNIA COASTAL ACT
– MARCH 2004 –

BIOMASS FROM ENTRAINED ORGANISMS

The desalination process involves either heating seawater or forcing it through membranes at very high pressure, as described in the previous section of this report. Both processes generally kill all of the organisms present in the seawater, and those dead organisms become part of the facility's discharge. At a large facility, this could result in a substantial amount of organic material, which can cause water quality problems by itself or can provide a matrix for growing bacteria and other organisms. This type of discharge can be harmful to human health.

ALTERNATIVES AND MITIGATION MEASURES

There are a number of ways to avoid or minimize adverse effects caused by desalination discharges, many of which can be used in combination. Mitigation measures that may be evaluated during review include:

- **Proper location:** The discharge should be located in an area where it will not harm nearby sensitive marine life. For example, discharges should be located well away from areas of kelp, hard bottom habitat, or other areas where resident species may be more sensitive to such changes in water quality.
- **Subsurface outfalls:** Similar to the benefits created by subsurface intakes, discharges from subsurface outfalls may be buffered and diffused by passing through substrate before they reach open water or the biologically active zone of the seafloor.
- **Structural measures – diffusers or multiport outfalls:** These structural components allow a discharge to be split into several streams or released over a larger area, resulting in quicker diffusion in the receiving water.
- **Minimizing chemical use or using alternative treatments:** These include using non-corrosive or less corrosive materials in the facility and adequately treating the chemicals before discharge to ensure they are neutralized. The review of proposed facilities may also consider the types and amounts of chemicals proposed to be used and evaluate whether there are less persistent or less harmful chemicals or methods that would achieve the same treatment purpose (e.g., using ultraviolet light instead of biocides).
- **Wastewater treatment systems or on-land disposal:** During some processes, such as membrane cleaning, desalination facilities may generate wastes with contaminant concentrations too high to be discharged to the ocean. Facilities can be designed to separate these flows and send them to a wastewater treatment system, or to separate out many of the solids removed from the seawater for disposal in a landfill. This same approach can be used to separate constituents in the water column that might be concentrated during the desalination process (e.g., copper or petroleum products as mentioned above), and disposed of in ways other than discharge to the ocean.

SEAWATER DESALINATION AND THE CALIFORNIA COASTAL ACT
– MARCH 2004 –

- **Co-located or combined outfalls:** In some cases, discharges from a desalination facility may be combined with other existing discharges, such as the discharge from a wastewater treatment system or a coastal power plant (see the following section of this report for additional evaluation of co-location with power plants). Combining the two discharges may result in fewer overall adverse effects compared to having separate discharges – for example, by allowing the high-saline desalination discharge to mix with a low-saline wastewater discharge, the overall discharge may mix more readily with the ocean water, allowing it to more quickly match background salinity levels. The degree to which the combined discharge will mix will vary depending on the contribution of each facility to the overall discharge – for example, wastewater flows are generally much lower at night than during the day, so a steady-state desalination discharge would provide a higher proportion of the overall amount at night.

Ocean discharges will also be subject to review and permitting by the Regional Water Quality Control Boards for an NPDES (National Pollutant Discharge Elimination System) permit, and will likely be subject to ongoing monitoring requirements.

WHAT’S LIKELY NEEDED DURING REVIEW?

The review should include descriptions and analyses of:

- Ambient or background conditions, including daily and seasonal variations, the existing level of water quality impairment, etc.
- Facility operating rates and discharge constituents at those rates.
- Types and amounts of chemicals and compounds used during the processes and maximum expected concentrations in the discharge.
- Plume modeling showing areal extent of salinity ranges in various conditions (including worst-case).
- Capacity of wastewater treatment or landfill to allow separation of solids or chemicals from the discharge.
- Fate and transport modeling showing how the discharge would interact with the receiving water.
- The “worst-case” situation – i.e., the conditions during which the facility would have the greatest adverse effects – for example, when the facility operates at full capacity with during an ebb tide and no or low currents so that very little mixing occurs.
- Marine organisms present and how they would be affected by salinity changes, including how the affects may vary by life stage.

For combined discharges, in addition to the above considerations, the review should describe the typical operating conditions for each facility and the amount of flow each would contribute to the overall discharge at various operating configurations. The “worst-case” scenarios for a combined discharge will also likely require identifying the highest and lowest levels of salinity and other contaminants that could reasonably occur during various operating conditions and the environmental characteristics of the receiving waters.

5.1.3 ISSUES RELATED TO CO-LOCATING DESALINATION FACILITIES AT COASTAL POWER PLANTS

Main Points:

- *Desalination facilities proposing to co-locate with coastal power plants using “once-through” cooling would link providing water supply with what in many cases may be an out-of-date and environmentally harmful technique.*
- *Most proposals for co-located desalination facilities will need updated entrainment studies, since most coastal power plants do not have current entrainment data.*
- *Review under the Coastal Act will require identifying, at minimum, the incremental impacts caused by the desalination facility beyond those caused by the power plant.*

The largest desalination facilities currently being considered in California are proposing to use the cooling water intakes and outfalls of existing coastal power plants. While there may be a number of operational advantages when desalination facilities co-locate with power plants, there are also some unique and potentially significant issues and adverse environmental impacts different from those that would be evaluated for an independently-sited desalination facility²⁷.

Most coastal power plants using a “once-through” cooling system were designed and sited several decades ago when environmental issues were not as much of a concern as they are today and when the adverse effects of once-through cooling were not as well understood. Many of the intakes and outfalls are located in areas that would likely not be acceptable under current requirements, due to their significant impacts on the marine biological community or their contribution to water quality problems. Additionally, many of these power plants have never gone through a comprehensive environmental review such as that required under CEQA and have not been evaluated for Coastal Act conformity.

²⁷ Many of these advantages and disadvantages of co-location are recognized in the findings and recommendations of the state Desalination Task Force, which include:

- *Advantages of co-locating desalination facilities with coastal power plants using once-through cooling may include: compatible land use, use of the existing infrastructure for feedwater intake and brine discharge, location security, use of the warmed power plant cooling water as the feedwater for the desalination facility, reduction of the power plant discharge thermal plume, and the potential to purchase power from the host power plant at prices below retail rates.*
- *Co-locating a desalination facility with a coastal power plant may provide a justification for the continued use of once-through cooling technology. Once through cooling technology has well-documented environmental impacts, including impacts on marine organisms.*
- *The appropriate State regulatory agencies have indicated that the siting of a new desalination facility, which utilizes any new or existing open water feedwater intakes, will require a current assessment of entrainment and impingement impacts as part of the environmental review and permitting process.*
- *For proposed desalination facilities co-locating with power plants, analyze the impacts of the desalination facility operations apart from the operations of the co-located facilities. This will identify the impacts of the desalination facility operations when there are reductions in cooling water quantities. This recommendation is not intended to dictate California Environmental Quality Act alternatives that must be evaluated.*

SEAWATER DESALINATION AND THE CALIFORNIA COASTAL ACT
– MARCH 2004 –

Even recognizing that existing baseline environmental conditions are, in part, a result of decades of power plant operation, the ongoing adverse impacts of these cooling water systems can be significant. Coastal power plants typically take in several hundred million gallons of seawater per day, with some taking in over a billion gallons each day. This is a significant amount of water by almost any measure – for example, a 500 million gallon per day cooling system takes in enough water each day to cover over two square miles of land one foot deep. When this amount of water is translated into habitat value, with densities of hundreds or thousands of organisms per cubic foot of water, this translates into a substantial loss of marine life, especially in areas where biological productivity may have already been reduced by other stressors or in important habitats such as estuarine or nearshore areas.

ADVANTAGES OF CO-LOCATION

Co-location is seen by many as providing several advantages, including:

- **Water use:** Most of the water used by a co-located desalination facility would be water also used by the power plant. For some such proposals, the incremental entrainment and impingement caused by the desalination facility might result overall in fewer additional impacts to the marine environment than a similarly sized desalination facility sited independently and drawing in water from its own intake system. This will require case-by-case evaluation, however, and would vary by location and by how each facility is operated.
- **Shared discharge:** The high salinity discharge from the desalination facility could be mixed with what would usually be a much higher volume of cooling water from the power plant. This would allow some salinity dilution before the combined discharge enters the ocean.
- **Use of existing intakes and outfalls:** By using the power plant's existing intake and outfall structures, there would be no need for additional inwater structures.
- **Available electricity:** The power plant could provide much of the energy used by the desalination facility, which could allow the desalination facility to be built with less need to increase transmission capability elsewhere on the energy grid. Additionally, in some cases, a co-located desalination facility may be able to pay less for the electricity due to low or no transmission costs.
- **Use of an existing industrial site and associated infrastructure:** Where a co-located desalination facility is located entirely within an existing power plant site, it may use much of the existing infrastructure needed for a desalination facility – such as parking, security, etc. – that is already in place. This could result in overall fewer impacts by having two facilities share an existing site rather than develop a new site. Additionally, many desalination facilities are likely to be relatively small in scale compared to the power plants, so their visual impacts may be subordinate to the existing visual effects of the power plants.
- **Existing data and studies:** For those power plants with up-to-date environmental studies, the proposed desalination facility could be reviewed based in part on those studies.

DISADVANTAGES AND CONCERNS

Along with these advantages, proposed co-location raises several concerns that are different from those involving independently-sited desalination facilities. Review for conformity to Coastal Act policies is likely to be different for proposed co-located desalination facilities than for facilities using their own intake or outfall structures. Several types of these issues are discussed below.

Entrainment, Impingement, and Discharges: One of the advantages sometimes cited for co-location is that a desalination facility would cause no additional entrainment or impingement beyond that already caused by the power plant. This is rarely likely to be the case, as the desalination facility would probably cause additional impacts for several reasons:

- ***Design and Location:*** Most of California's coastal power plant intakes were sited several decades ago in what were not necessarily the least environmentally harmful locations. Their designs and locations do not reflect current understanding of the effects of once-through cooling on the marine biological community. Some of their cooling water intakes are located in areas where the biological resources have been, and continue to be, entrained at very high rates. A co-located desalination facility using these intakes would likely continue and increase entrainment or impingement impacts at rates that might otherwise not occur at a facility that was sited based on current environmental information or that found it feasible to use a subsurface intake. Facilities proposing to co-locate should not presume that joint use of the cooling system is the best available alternative, but should conduct the necessary feasibility study to determine whether subsurface intakes would work in the area.
- ***Characteristics of Combined Operations:*** The particular operating relationship between a desalination facility and a power plant will affect their combined entrainment/impingement rate. This can take several forms:
 - o A desalination facility may result in an increase in power plant operations that would not otherwise be needed – for example, a desalination facility operating twenty-four hours a day may require a power plant to operate at times when it would otherwise be shut down or operate at lower capacity due to lack of energy demand. It typically takes from 15,000 to 40,000 gallons of cooling water to produce a megawatt of electricity, and about 13 megawatts of electricity to produce a million gallons of desalted water. Therefore, a 25 million gallon per day desalination facility would require the power plant to pull in about five to 13 million gallons of cooling water each day to produce the electricity necessary to process the 50 million gallons of source water needed for the desalination process.
 - o When a power plant is not producing electricity and therefore does not need water for cooling, it usually continues to pull in some amount of water to keep the intake, outfall, and various condenser components from fouling. During these times, entrained organisms may be subject to pressure changes but not thermal changes as they pass through the cooling water system, which may allow some higher percentage of these organisms to live. However, desalination facilities that are operating at these times could cause organisms that might otherwise survive to perish due to their coming into contact with the desalination filtering or pre-treatment systems.

SEAWATER DESALINATION AND THE CALIFORNIA COASTAL ACT

– MARCH 2004 –

- o At some facilities, cooling water from the power plant condensers may be too hot for the desalination equipment, and the facility will have to pull in additional seawater that bypasses the power plant and allows the power plant discharge to be cooled to a temperature that does not damage the desalination filters and membranes.

Project review, therefore, should identify how the operations of the two facilities will be coordinated. Desalination facilities located at power plants that produce a baseload supply of electricity and operate continually will likely create fewer additional entrainment impacts than those located at power plants that usually operate only during peak energy demands. The review should also identify the amount of time the power plant is shut down for various lengths of time due to maintenance requirements or market conditions. At power plants with multiple generating units and multiple intakes for those units, the review for the desalination facility may also identify whether it is feasible to locate the facility at the intake that operates the most (i.e., the intake providing water for the most efficient power generating unit).

The review will need to reflect the existing conditions at the power plant, which will likely be based on representative operations at or near the time of the review. If, as in many cases, the power plant has generally operated at less than full capacity, existing conditions would likely be based on this actual level of operation rather than its maximum permitted output.

Adequate review will also depend on the recency and adequacy of entrainment data at the power plant. Entrainment studies for most of the state's coastal power plants date from the 1970s and 1980s, and the data from these studies generally do not adequately identify the existing and ongoing level of impact caused by the power plant's once-through cooling system, and do not accurately describe the existing environmental conditions as required under CEQA and the Coastal Act. These studies do not reflect more recent improvements in sampling protocols, species identification, and modeling methods, and are not based on our improved scientific understanding of marine ecosystems. Additionally, while most power plants have been reviewed at various times for conformity to state and federal water quality standards, many have not been reviewed for conformity to Coastal Act policies or CEQA²⁸. In such cases, there may be no "baseline" of environmental effects that can be used for Coastal Act review, although, data collected as part of a recent entrainment study under the Energy Commission's "CEQA-equivalent" review may serve as an appropriate baseline.

- ***Temporary or permanent change in power plant operations:*** As power plants undergo review for proposed new generating units, new requirements may result in replacement of their once-through cooling systems with systems that are less harmful to the marine environment, such as dry cooling, recycled or reclaimed water, or other methods. The U.S. EPA recently adopted rules related to the allowable level of adverse entrainment and impingement effects associated with once-through cooling. These new rules require significant reductions in entrainment and impingement rates, which could reduce the advantages of co-location if the power plants must make significant design or operational changes to the power plant to decrease their cooling water use.

²⁸ Older power plants that have undergone review only for NPDES discharge permits also may not have established appropriate baseline conditions for CEQA, since the NPDES permit review for existing discharges is exempt from CEQA requirements (per CEQA Guidelines, Section 15263 – Discharge Requirements).

SEAWATER DESALINATION AND THE CALIFORNIA COASTAL ACT
– MARCH 2004 –

- **Thermal discharges:** In addition to the discharge characteristics discussed in the previous section of this report – high salinity, chemicals, and biomass – review of a combined discharge must consider the thermal discharge from a power plant’s cooling system. Most coastal power plants are allowed to discharge water up to 20° F over the ambient ocean water temperature, with some having higher permit limits. The effect of combining a desalination discharge with this higher temperature discharge from the power plant will vary based on the operational characteristics of the two facilities, but could result in effects significantly different than those created by the power plant discharge alone.

“COASTAL-DEPENDENCY”

Some sites along the coast, including those of many existing coastal power plants, are designated in the applicable certified Local Coastal Program for coastal-dependent uses. Unless a desalination processing facility proposed for such a site is determined to be coastal-dependent, it may require a change in the land use designation to allow it to be sited there. The intake and outfall proposed to be used by the desalination facility are more likely to be considered coastal-dependent than the facility’s processing units are. [See also Chapter 2.2.2.]

WHAT’S LIKELY NEEDED DURING REVIEW?

Along with the need for recent and applicable entrainment/impingement data, it is likely that most, if not all, the reviews for desalination facilities proposing to co-locate with power plants will need to distinguish between the power plant operating by itself and the two facilities operating together. The desalination facility will very likely operate on its own at some time during its operating life, due to power plant shutdowns for maintenance or other reasons. The review will include determining what effects the facility causes when it operates on its own, what incremental effects it may cause above and beyond those of the power plant when they are both operating, and may also involve partitioning responsibility for the environmental impacts and mitigation measures between the two facilities. This might best occur during CEQA review as part of a “reasonable worst case” evaluation of entrainment and discharge effects, or could be done during review for a coastal development permit. Once the incremental increase in entrainment and impingement is known, it can be compared to the effects that would occur at other available locations or that would result from using other intake methods.

Review of facilities proposing to co-locate will also likely include an evaluation of the combined effect of their discharges. This will likely include a determination of salinity effects, effects of combining the chemical and biological discharges of a desalination facility with the thermal discharge of the power plant, and other synchronistic effects that may occur.

5.2 OTHER COASTAL ACT ENVIRONMENTAL POLICIES

As stated at the beginning of this chapter, many Coastal Act policies are likely to apply to desalination facilities in a manner similar to how they apply to other facilities. These policies include those discussed below. Many of the studies and considerations necessary when reviewing a proposed project for conformity to these policies may be done earlier than Coastal Act review, either during CEQA or during the initial conceptual design stage of a proposal. Early consideration of these issues may result in fewer changes later in the review and permitting processes.

5.2.1 SPILL PREVENTION AND RESPONSE

Coastal Act section 30232 states:

Protection against the spillage of crude oil, gas, petroleum products, or hazardous substances shall be provided in relation to any development or transportation of such materials. Effective containment and cleanup facilities and procedures shall be provided for accidental spills that do occur.

This policy includes two primary requirements – first, that developments protect against spills; and second, that developments include effective measures to clean up spills should they occur. Desalination facilities will likely be subject to spill prevention, response, and cleanup requirements similar to those for other industrial facilities in the coastal zone. Many of the chemicals that desalination facilities will use for water treatment, membrane cleaning, and other purposes, are toxic. Spills or releases could cause significant biological damage and in some cases, severe risk to human health. Since many facilities are proposed to be located on or near the shoreline, or at locations with easy access to the water, they will be required to develop a comprehensive spill prevention and response plan.

WHAT'S LIKELY NEEDED DURING REVIEW?

The primary requirement will be submittal of an acceptable spill response plan. For proposals to co-locate a desalination facility with other existing facilities such as power plants or wastewater treatment plants, the existing spill plan for that plant may only need to be updated to incorporate issues related to the desalination facility.

5.2.2 HAZARDS AND EROSION

Coastal Act section 30253 states, in part:

New development shall:

- (1) Minimize risks to life and property in areas of high geologic, flood, and fire hazard.*
- (2) Assure stability and structural integrity, and neither create nor contribute significantly to erosion, geologic instability, or destruction of the site or surrounding area or in any way require the construction of protective devices that would substantially alter natural landforms along bluffs and cliffs...*

SEAWATER DESALINATION AND THE CALIFORNIA COASTAL ACT
– MARCH 2004 –

This policy essentially requires that the risks at proposed locations due to various hazards be considered as part of project review and that the location and design of a proposed development include measures to minimize those risks. Desalination facilities should either be sited where risks associated with these hazards are minimal or be designed to reduce those risks. Review under this policy also requires a determination that the development will not require protective devices in the future.

Additionally, Coastal Act 30235 will likely apply to desalination facilities proposing to locate near the shoreline:

Revetments, breakwaters, groins, harbor channels, seawalls, cliff retaining walls, and other such construction that alters natural shoreline processes shall be permitted when required to serve coastal-dependent uses or to protect existing structures or public beaches in danger from erosion, and when designed to eliminate or mitigate adverse impacts on local shoreline sand supply. Existing marine structures causing water stagnation contributing to pollution problems and fish kills should be phased out or upgraded where feasible.

This policy describes situations where shoreline stabilization structures may be allowed. Generally, these structures may be permitted for coastal-dependent uses or for existing developments in danger from erosion, but not for new facilities. The policy also limits these structures where they are required to protect existing development, not when such structures might be needed at some point in the future.

WHAT'S LIKELY NEEDED DURING REVIEW?

Review of desalination facilities is likely to require studies related to site geology, hydrology, and erosion, including identifying likely seismic events, the potential for tsunamis, liquefaction, shoreline erosion, and other hazards common in coastal areas. Review for facilities proposing to locate near the shoreline may also require studies to determine the rate of shoreline erosion in the area to anticipate whether shoreline protective devices might be needed to protect the facility during its operating life. These reviews may result in all or part of a facility being relocated at alternative sites or at alternative locations within a site.

5.2.3 UPLAND HABITATS AND ENVIRONMENTALLY SENSITIVE HABITAT AREAS (ESHAS)

Coastal Act Section 30240 states:

- (a) Environmentally sensitive habitat areas shall be protected against any significant disruption of habitat values, and only uses dependent on those resources shall be allowed within those areas.*
- (b) Development in areas adjacent to environmentally sensitive habitat areas and parks and recreation areas shall be sited and designed to prevent impacts which would significantly degrade those areas, and shall be compatible with the continuance of those habitat and recreation areas.*

SEAWATER DESALINATION AND THE CALIFORNIA COASTAL ACT

– MARCH 2004 –

The review will likely evaluate the physical and biological effects of the proposed facility on surface water sources, riparian and wetland communities, special habitat sites, and other similar areas with high environmental values.

WHAT'S LIKELY NEEDED DURING REVIEW?

Facilities should be located and designed to avoid sites in and near with sensitive habitat areas. Studies needed during review will likely include biological surveys and descriptions of nearby wetlands, coastal scrub-shrub habitats, and other habitat types recognized as deserving of special protections. For facilities proposing to locate near such habitats, mitigation measures to avoid and reduce potential adverse effects should be evaluated, including controlling runoff from the facility, reducing glare from facility lighting, housing machinery within sound-dampening materials to reduce noise impacts, and other similar measures.

5.2.4 VISUAL AND SCENIC RESOURCES

Proposed desalination facilities along the coast will be subject to Coastal Act section 30251:

The scenic and visual qualities of coastal areas shall be considered and protected as a resource of public importance. Permitted development shall be sited and designed to protect views to and along the ocean and scenic coastal areas, to minimize the alteration of natural land forms, to be visually compatible with the character of surrounding areas, and, where feasible, to restore and enhance visual quality in visually degraded areas. New development in highly scenic areas such as those designated in the California Coastline Preservation and Recreation Plan prepared by the Department of Parks and Recreation and by local government shall be subordinate to the character of its setting.

This policy establishes four requirements related to the visual and scenic quality of proposed developments:

- 1) Permitted development must be sited and designed to protect views to and along the ocean and scenic coastal areas.
- 2) The development must minimize the alteration of natural landforms.
- 3) It must be visually compatible with the character of the surrounding areas.
- 4) In visually degraded areas and where feasible, the development must restore and enhance visual quality. This requirement includes a three-part test:
 - a) Is the area visually degraded?;
 - b) If so, are there measures that would restore or enhance visual quality?; and,
 - c) If so, are those measures feasible?

This review will likely include determining which locations within a site result in the fewest visual impacts. Measures meant to reduce a facility's visual impacts may also have other beneficial results – for example, putting equipment within buildings or behind screens may reduce the amount of maintenance and repair that would be necessary if the equipment were exposed to salt air or coastal winds. These considerations would likely be a part of a determination of feasibility for those facilities in visually degraded areas.

SEAWATER DESALINATION AND THE CALIFORNIA COASTAL ACT
– MARCH 2004 –

WHAT'S LIKELY NEEDED DURING REVIEW?

For coastal desalination facilities, review is likely to include the following considerations:

- Determine the views that will be affected by the proposed facility.
- Determine measures that will protect those views, such as restricting the height of the facility, selecting colors that will not detract from the views, placing elements of the facility that are “visually chaotic” (e.g., unscreened industrial equipment, machinery, pipes and tubing, etc.) either inside, behind architectural screens, or behind vegetation, and other similar measures.
- Determine whether the facility is compatible with other nearby uses or facilities.
- If the area is considered visually degraded, determine what feasible measures are available to restore or enhance the area’s visual qualities, which may include measures that go beyond just screening a facility from view.

5.3 CUMULATIVE IMPACTS

The Coastal Act includes several policies requiring the evaluation of a proposed development’s cumulative effects, including Section 30250(a), which states, in part:

New residential, commercial, or industrial development, except as otherwise provided in this division, shall be located...where it will not have significant adverse effects, either individually or cumulatively, on coastal resources.

The Act defines “cumulative effects” in Section 30105.5²⁹:

“Cumulatively” or “cumulative effects” means the incremental effects of an individual project shall be reviewed in connection with the effects of past projects, the effects of other current projects, and the effects of probable future projects.

Coastal desalination facilities are likely to raise substantial and complex concerns about cumulative impacts. Different elements of a desalination facility – its location, its service area, its design and operational characteristics – can contribute to different types of cumulative impacts associated with the full range of coastal resources – environmental, visual, public access, and many others. For example, regarding environmental concerns, the most likely cumulative impact analysis needed will be related to marine biology and water quality. Many coastal areas, nearshore waters, and marine ecosystems are significantly degraded due to existing levels of impacts caused by a wide variety of stressors – the effects of development, pollutant discharges, natural or synthetic shifts in local species diversity, global climatic changes, and other

²⁹ Note: The Coastal Act definition is broader than than the definition under CEQA Section 15355, which states: "Cumulative impacts" refers to two or more individual effects which, when considered together, are considerable or which compound or increase other environmental impacts.
(a) The individual effects may be changes resulting from a single project or a number of separate projects.
(b) The cumulative impact from several projects is the change in the environment which results from the incremental impact of the project when added to other closely related past, present, and reasonably foreseeable probable future projects. Cumulative impacts can result from individually minor but collectively significant projects taking place over a period of time.”

SEAWATER DESALINATION AND THE CALIFORNIA COASTAL ACT
– MARCH 2004 –

conditions. Seawater intakes can also contribute to cumulative impacts, especially in areas of the coast that may be subject to the effects of other intake structures. The growth associated with a desalination facility may also need to be reviewed for potential cumulative impacts, although in some cases, this analysis may have been done to some degree as part of a local or regional planning document.

One significant question related to cumulative impacts that may arise for some proposals is whether a single large-scale facility has more or fewer cumulative impacts than several smaller-scale desalination facilities. Like many of the issues identified in this report, it may be best to address this question thoroughly early in the design process of proposed facilities so that significant changes aren't required later.

WHAT'S LIKELY NEEDED DURING REVIEW?

While the particular aspects of the necessary cumulative impact analysis will vary by facility and location, there are several that will likely be common to all or most proposed facilities. Examples include:

- ***Marine Biology/Water Quality:*** The review should consider, for example, the effects of nearby intakes or outfalls of various types on an area's marine biological resources and water quality, as well as the likely effects of the proposed facility on the existing conditions in the affected waterbody.
- ***Growth-related:*** For some proposed projects, this will require a relatively uncomplicated assessment – for instance, where a relatively small facility is providing water to a limited service area with a known allowable level of build-out. For other projects, assessing growth-related cumulative impacts may be much more complicated and may be, for many potential impacts, inconclusive. The types of impacts to be considered may range from assessing the effects of additional runoff reaching coastal waters, additional traffic and its affects on coastal access, the need for additional infrastructure to support that growth, and others.
- ***Power production:*** for large-scale facilities, the amount of power required to produce the desalinated water may create substantial demands on local power sources, resulting in additional air or water pollution. The review of such facilities should assess the impacts associated with this additional power production and identify ways to minimize those impacts.

CHAPTER 6: OTHER REGULATIONS AND PERMITS

Chapter Sections:

6.1 California Environmental Quality Act (CEQA)

6.2 Agencies With Jurisdiction (including Local, Regional, State, and Federal)

Main Points:

- *Only after other local and state permits and approvals are received can a coastal development permit application be considered complete.*
- *Early coordination among project applicants and the various agencies will likely result in a more efficient review process.*

Seawater desalination facilities raise issues related not only to coastal resources, but also related to public health, drinking water supply and safety, cost, energy use, land use, and others. As such, these facilities will be subject to regulations, review, and permit approval by a number of agencies. Each facility will need to conform to a different set of regulations, based on its design and location, and based on the local, state, and federal requirements that apply to it.

For purposes of review by the Coastal Commission, an applicant will need to provide other local and state permits or preliminary approvals before their coastal development permit application is considered complete. This generally results in the Commission's coastal development permit being the last of the local and state permits to be reviewed, and allows the Commission's review to benefit from knowing more complete details about a proposed project, what conditions may have been imposed by other agencies, and what measures may be incorporated into the project that affect coastal resources.

The discussion below provides a general overview of the permits that will most likely be necessary for coastal desalination facilities. Given the number of regulations involved in siting such a proposal – a facility meant to provide drinking water located in an area subject to high public scrutiny – it may be important for project proponents and the various involved agencies to coordinate closely with each other and with the interested public. For the review process to be both effective and efficient, there will likely need to be open distribution of information among the various parties to allow issues of common interest to be identified and resolved early in the process rather than later.

6.1 CALIFORNIA ENVIRONMENTAL QUALITY ACT (CEQA)

Desalination facilities are likely to require comprehensive environmental review under CEQA, most likely through the Environmental Impact Report (EIR) process. With the number of agencies involved in desalination and the number of permits likely to be required, it is important to have a thorough and comprehensive CEQA review. Reviews for many permits, including coastal development permits, often require more detailed information than might be provided during CEQA; however, if agencies are involved in the CEQA review early and thoroughly, and much of the information they need is provided as part of that review, it may result in a more efficient and shorter decision-making process overall for a proposed facility.

SEAWATER DESALINATION AND THE CALIFORNIA COASTAL ACT
– MARCH 2004 –

TABLE 4: PERMITS/APPROVALS LIKELY REQUIRED FOR A COASTAL DESALINATION FACILITY

AGENCY	PERMIT OR APPROVAL	NOTES
Federal:		
Army Corps of Engineers	<ul style="list-style-type: none"> • Section 404 permit • Section 10 permit 	<ul style="list-style-type: none"> • To place fill in navigable waters. • To place a structure in navigable waters.
Coast Guard	Consultation with Corps	
National Marine Fisheries Service	Endangered Species Act, Section 7 consultation	For federal permits that may affect endangered species.
National Oceanic and Atmospheric Administration	Permits and/or consultation	For projects in national marine sanctuaries.
U.S. Fish & Wildlife Service	Endangered Species Act, Section 7 consultation	For federal permits that may affect endangered species.
State:		
Coastal Commission	<ul style="list-style-type: none"> • Coastal Development Permit • Consistency with Coastal Zone Management Program 	<ul style="list-style-type: none"> • For projects affecting coastal waters. • For projects requiring federal permits and approvals.
Department of Fish & Game	<ul style="list-style-type: none"> • Stream Alteration Agreement • California Endangered Species Act 	
Department of Health Services	<ul style="list-style-type: none"> • State Safe Drinking Water Act • Federal Surface Water Treatment Rule 	
Department of Parks & Recreation	Approval for facilities within or near state parks	
Department of Transportation	Encroachment permit	For utilities crossing state highways.
Department of Water Resources	Approval for use of state water conveyance facilities.	
Public Utilities Commission	Regulates water services, rates, and service areas.	
State Lands Commission	Land Use Lease	
State Water Resources Control Board / Regional Water Quality Control Boards	<ul style="list-style-type: none"> • Water quality certification • NPDES permit 	
Local & Regional:		
City or County / Local utilities / Water Management Districts	These will vary by local jurisdiction and may include building permits, health department certifications, operating permits, or other types of approvals.	

SEAWATER DESALINATION AND THE CALIFORNIA COASTAL ACT
– MARCH 2004 –

6.2 AGENCIES WITH JURISDICTION

The list below includes agencies, laws, and regulations that are most likely to be involved in reviewing desalination proposals, along with a brief description of how they are likely to be involved.

LOCAL AND REGIONAL JURISDICTIONS

Each local jurisdiction has unique review, permit, and approval requirements. Facilities will be subject to local zoning requirements, land use ordinances, growth management objectives, and other similar approvals, and will need to meet local requirements for public notices, public hearings, appeals, and other similar requirements. Permits needed may include grading permits, building permits, approval from the local fire marshal, and the like. Other local or regional permits may be required from air pollution control agencies, water districts, local utilities, and city or county health departments.

Generally, desalination facilities will need a coastal development permit from both the local jurisdiction, if it has a certified Local Coastal Program, as well as from the Coastal Commission. In such cases, the local government's jurisdiction generally includes most upland areas within the coastal zone, while the Coastal Commission's retained jurisdiction includes areas near coastal waters, areas below the mean high tide line, and other areas³⁰. Additionally, some desalination facilities will be located within the Coastal Commission's appeal jurisdiction³¹. In these situations, a local jurisdiction's decision on a coastal development permit may be appealed to the Coastal Commission. In such cases, the Coastal Commission may review the appeal to determine whether the local decision conforms to the applicable policies of the Local Coastal Program.

STATE

Desalination facilities will likely require permits or approvals from the state agencies listed below. Unless otherwise noted, these approvals are generally required before the coastal development permit application to the Coastal Commission is considered complete.

³⁰ Coastal Act Section 30601: Prior to certification of the local coastal program and, where applicable, in addition to a permit from local government pursuant to subdivision (b) or (d) of Section 30600, a coastal development permit shall be obtained from the commission for any of the following:

- 1) Developments between the sea and the first public road paralleling the sea or within 300 feet of the inland extent of any beach or of the mean high tide line of the sea where there is no beach, whichever is the greater distance.
- 2) Developments not included within paragraph (1) located on tidelands, submerged lands, public trust lands, within 100 feet of any wetland, estuary, stream, or within 300 feet of the top of the seaward face of any coastal bluff.
- 3) Any development which constitutes a major public works project or a major energy facility.

³¹ The Commission's appeal jurisdiction varies by locale, but is generally with 300 feet of mean high tide or between the sea and the first public road, within 300 feet of the top of coastal bluffs, within 100 feet of wetlands, streams, and other areas. Additionally, Coastal Act section 30603 provides the Commission with appeal jurisdiction over major energy facilities and major public works projects, so local decisions on most desalination facilities are likely to be appealable to the Commission, regardless of their location in the coastal zone.

SEAWATER DESALINATION AND THE CALIFORNIA COASTAL ACT
– MARCH 2004 –

State Lands Commission: The State Lands Commission manages most of the state’s tidelands and lands lying under coastal waters. Desalination facilities proposing to place new intakes or outfalls on state tidelands, or to change the use of existing intakes and outfalls, will generally be required to obtain a lease or lease modification from the Commission.

In some coastal areas, the state has granted tidelands to a local jurisdiction. Coastal development permit applications to build structures in these areas will need to include a lease from the local jurisdiction. In these areas, the local jurisdiction’s lease decision may be subject to review and approval by the State Lands Commission.

State Water Resources Control Board (SWRCB) and Regional Water Quality Control Boards (RWQCBs): The SWRCB is responsible for allocating water rights within California and establishing many of the state’s water quality protection measures. Nine Regional Boards develop and enforce water quality objectives and implementation plans in particular regions of the state.

- **Water Rights:** The SWRCB reviews and authorizes water rights in California, which are required for consumptive uses from enclosed water bodies within the state. Water rights are likely not needed for proposed desalination facilities using water from the open ocean, but may be needed by facilities proposing to use water from enclosed or semi-enclosed areas, such as bays or estuaries, or saline groundwater. Applicants and lead agencies should contact the State Board to determine whether a specific proposal will require a water right.
- **Water Quality:** The State Board and its nine Regional Boards share key responsibilities for implementing the state’s water quality requirements. The State Board establishes statewide standards, including the state’s Ocean Plan, and hears appeals of Regional Board decisions. Each of the state’s nine Regional Boards is responsible for water quality permitting within its region. Parts of six Regional Boards are located along the California Coast and would regulate the discharges of desalination facilities within their jurisdiction. The two most common RWQCB permits likely to be needed for a coastal desalination facility are a water quality certification and a discharge permit:
 - o Section 401 water quality certification: This permit is required when proposing to place fill in a waterbody. It is issued by the state in conjunction with a Section 404 permit from the U.S. Army Corps of Engineers (see below). “Fill” includes intake or outfall pipelines, beach wells, transmission lines, or other similar structures. Desalination facilities involving new intakes or outfalls or requiring modification of existing outfalls are likely to require a 401 water quality certification.
 - o National Pollutant Discharge Elimination System (NPDES) permit: allows pollutants to be discharged to waters of the U.S. Desalination facilities proposing a new outfall will likely need a new NPDES permit. For desalination facilities proposing to use existing outfalls at already-permitted facilities, such as power plants or wastewater treatment facilities, the RWQCB may choose to modify the existing permit or may require a new permit. [For a discussion of impacts related to discharges, see Chapter 5.1.2.]

SEAWATER DESALINATION AND THE CALIFORNIA COASTAL ACT
– MARCH 2004 –

NPDES permits almost exclusively regulate the discharge of pollutants from point sources, such as industrial effluent from an outfall pipe or stormwater from a municipal storm system. The primary exception applicable to coastal desalination facilities is that NPDES permits are also used to regulate intakes used by thermal power plants that use ocean water for cooling. An NPDES permit for these facilities must determine that these systems use the best technology available to minimize adverse impacts due to their location, design, construction, and capacity. Desalination facilities proposing to co-locate with these types of power plants may therefore be subject to NPDES requirements associated with their intakes.

- ***Coordination between the Coastal Commission and the State/Regional Boards:*** The Coastal Commission often works with the Regional Boards to coordinate review when there is shared jurisdiction of proposed projects. Although the State and Regional Boards operate primarily under the California Water Code while the Coastal Commission acts pursuant to the Coastal Act, there are several areas of shared responsibility and common requirements. For example, both the Commission and the Boards are directed to maintain and restore coastal waters, although the focus and implementation of each agency in carrying out this directive may differ. Additionally, Section 30412 of the Coastal Act establishes some common policies for the Commission and the State and Regional Boards and also recognizes some of the different aspects of their jurisdictions.

For many projects, including proposed desalination facilities, the Commission and Boards may require similar information during project review. For some aspects of a proposal, however, the Coastal Commission may require some information not requested by a Regional Board, in part because the Coastal Act has different requirements and because Coastal Act review is equivalent to CEQA, while the NPDES review process is exempt from CEQA. For proposed coastal desalination facilities, it may be best for a project applicant to request that the involved agencies identify the applicable standards, necessary studies, and likely requirements as early in the proposal process as possible, either during environmental review or even earlier during conceptual design of a proposed facility, to allow better coordination by all the involved parties.

Energy Commission: For desalination facilities proposing to locate at power plants, the Energy Commission is likely to review proposed changes to the power plant needed to accommodate the desalination facility. Some of those changes may require approval from the Energy Commission. The review may also evaluate the effects of the desalination facility on the power plant's operations, its effect, if any, on the local or regional transmission lines, and other aspects of the desalination facility's impact on energy use.

Department of Fish and Game: The Department requires a stream alteration permit for activities within inland waters and within some areas of bays and estuaries. It also reviews projects for potential impacts to listed species.

Public Utilities Commission (PUC): Desalination facilities may be subject to water rates established by the PUC. The PUC also establishes service areas for water districts, so water provided by a desalination facility may be subject to limits on where it can be sent and the price that may be set.

SEAWATER DESALINATION AND THE CALIFORNIA COASTAL ACT

– MARCH 2004 –

Department of Health Services: Equipment and processes used in desalination facilities will likely be subject to review and approval for use as drinking water. This review may include specific performance standards for construction and operation of a facility, evaluation of the integrity of equipment used at the facility, determining the required response by the facility operator to various problems, and other requirements.

Other: Other state permits may be required, depending on the facility location, from the state Departments of Parks and Recreation, Transportation, Boating and Waterways, and others.

FEDERAL

Coast Guard: Structures in navigable waters, such as intake and outfall pipelines, may require approval to ensure they don't adversely affect navigation. The Coast Guard may also require buoys or markers to be maintained over the structures. The applicant may also be required to submit information about the structures to include on nautical charts.

U.S. Army Corps of Engineers: A desalination facility may require a Section 404 permit from the Corps if it involves placing fill in navigable waters, and a Section 10 permit if the proposal involves placing a structure in a navigable waterway.

National Marine Fisheries Service and/or U.S. Fish and Wildlife Service: Facilities may require review from these services for their potential effects on endangered, threatened, or other sensitive species. They may also require review for effects on protected marine mammals and migratory birds.

Other: Other permits may also be required from the federal Bureau of Reclamation, Environmental Protection Agency, Minerals Management Service, and others.

WHAT'S LIKELY NEEDED DURING REVIEW?

Local and state approvals must be submitted as part of a complete coastal development permit application. Additionally, the applicant must provide the lease or approval of the landowner for the proposed project. For some projects, this will require approval from the upland landowner as well as from the State Lands Commission for portions of the project on state tidelands.

SEAWATER DESALINATION AND THE CALIFORNIA COASTAL ACT
– MARCH 2004 –

BIBLIOGRAPHY

Bay, Steven M. Investigation of Desalination Plant Toxicity. Southern California Coastal Water Research Project, September 1993.

Buros, O.K. The ABCs of Desalting. International Desalination Association, February 2000.

California Coastal Commission. Seawater Desalination in California, October 1993.

California Department of Water Resources. The California Water Plan Update: Bulletin 160-98, January 1998.

_____. The California Water Plan Update 2003: Bulletin 160-03, June 2003.

_____. Issue Papers of the Desalination Task Force, October 2003

_____. Water Desalination in California: Findings and Recommendations, October 2003.

California Resources Agency. California's Ocean Resources: An Agenda for the Future, March 1997.

California State Lands Commission. Public Trust Policy for the California State Lands Commission, adopted September 17, 2001 (see http://www.slc.ca.gov/Policy%20Statements/Policy_Statements_Home.htm).

California State Senate Select Committee on International Trade Policy and State Legislation. Various analyses and fact sheets, 2003.

Caplan, Ruth. Trading Away Our Water: How Trade Agreements Promote Corporate Water Profiteering. Alliance for Democracy, Washington D.C., n.d.

Fairfax, Dr. Sally. Trusts and the Public Trust Doctrine, a speech given at the Tomales Bay Institute, November 14, 2000.

Gleick, Dr. Peter. The Human Right to Water. Pacific Institute for Studies in Development, Environment, and Security, July 1999.

Gleick, Dr. Peter, Gary Wolff, Elizabeth Chalecki, and Rachel Reyes. The New Economy of Water: The Risks and Benefits of Globalization and Privatization of Fresh Water. Pacific Institute for Studies in Development, Environment, and Security, February 2002.

Gleick, Dr. Peter, Gary Wolff, and Dan Haasz. Waste Not, Want Not: The Potential for Urban Water Conservation in California. Pacific Institute for Studies in Development, Environment, and Security, November 2003.

SEAWATER DESALINATION AND THE CALIFORNIA COASTAL ACT
– MARCH 2004 –

Holt, Tim. The Next War May Be Over Water, from High Country News, January 12, 2004.

Lattemann, Sabine, and Thomas Höpner. Seawater Desalination – Impacts of Brine and Chemical Discharge on the Marine Environment. Institute for Chemistry and Biology of the Marine Environment, University of Oldenburg, Germany, April 2003.

Metropolitan Water District of Southern California. Request for Proposals for Participation in the Seawater Desalination Program, RFP No. WRM-3, November 28, 2001.

National Council for Public-Private Partnerships. Critical Choices: The Debate Over Public-Private Partnerships and What it Means for America's Future, 2003.

_____. For the Good of the People: Using Public-Private Partnerships To Meet America's Essential Needs, n.d.

Ofiara, Douglas and Joseph J. Seneca. Economic Losses from Marine Pollution: A Handbook for Assessment. Island Press, Washington, D.C. 2001.

Pew Oceans Commission. America's Living Oceans Report: Charting a Course for Sea Change, June 2003.

San Diego County Water Authority. 2000 Urban Water Management Plan. November 2000.

Shrybman, Steven. Thirst for Control. Council of Canadians, January 2002.

Turner, Ian L. and Stephen P. Leatherman. Beach Dewatering as a 'Soft' Engineering Solution to Coastal Erosion – A History and Critical Review, Journal of Coastal Research, Fall 1997.

Urban Water Council. Public/Private Partnerships in Municipal Water and Wastewater Systems: Case Studies of Selected Cities. United States Conference of Mayors, February 2000.

Waterways Experiment Station, U.S. Army Corps of Engineers. Field Evaluation/Demonstration of a Multisegmented Dewatering System for Accreting Beach Sand in a High-Wave-Energy Environment, July 1988.

Western Water. Tapping the World's Largest Reservoir: Desalination. Water Education Foundation, January/February 2003.

Yamada, Robert R., Jack K. Laughlin, and Dennis K. Wood. Co-located seawater desalination/power facilities: practical and institutional issues. In *Desalination*, 102 (pp. 279-286), Elsevier Publishing. 1995.

APPENDIX A: GLOSSARY AND ACRONYMS

Acre-foot (AF): A unit for measuring the volume of water. One acre-foot equals 325,851 gallons (the volume of water that will cover one acre to a depth of one foot). One million gallons equals 3.07 acre-feet.

Biocide: A chemical used to kill biological organisms (e.g., chlorine).

Brackish water: Water with salt concentrations of between 5 and 20 parts per thousand (ppt). Seawater generally has salt concentrations of greater than 20 ppt.

Brine: Water that contains a high concentration of salt. Brine discharges from desalination plants may include constituents used in pretreatment processes, in addition to the high salt concentration seawater.

Coagulation: A pretreatment process used in some desalination plants. A substance (e.g., ferric chloride) is added to a solution to cause certain elements to thicken into a coherent mass, so that they may be removed.

Cogeneration: A power plant that is designed to conserve energy by using "waste heat" from generating electricity for another purpose.

Distillation: A process of desalination where the intake water is heated to produce steam. The steam is then condensed to produce product water with low salt concentration.

Entrainment: Entrainment occurs when small organisms, such as plankton, larvae, and fish eggs, are drawn into a water intake past any screening equipment and are subjected to pressure or temperature changes. Entrainment is generally considered to result in the death of all the entrained organisms, if not immediately, then shortly after they are discharged back into the environment where they become prey for other animals.

Feedwater: Water fed to the desalination equipment. This can be source water with or without pretreatment.

Impingement: Impingement occurs when fish and other aquatic organisms are trapped against screens used in intake systems. Impingement usually results in either injury or death to the organisms, although some systems include features that allow some individuals to be moved away from the screens unharmed.

Infiltration Gallery: A structure used to draw in water using perforated pipes buried below land or below the bottom surface of a water body. Water in the saturated zone of the substrate is pulled into the perforated pipes.

SEAWATER DESALINATION AND THE CALIFORNIA COASTAL ACT
– MARCH 2004 –

Kilowatt (kW): A thousand watts. The watt is a measure of power used by electricity generating plants. One watt is equivalent to 1 Joule/second or 3.4127 Btu/hour.

Megawatt (MW): A million watts.

Minimize: To reduce to the smallest possible level.

Mitigate: The California Environmental Quality Act (at Section 15370) defines “mitigation” and the sequence of mitigation as:

- (a) Avoiding the impact altogether by not taking a certain action or parts of an action.
- (b) Minimizing impacts by limiting the degree or magnitude of the action and its implementation.
- (c) Rectifying the impact by repairing, rehabilitating, or restoring the impacted environment.
- (d) Reducing or eliminating the impact over time by preservation and maintenance operations during the life of the action.
- (e) Compensating for the impact by replacing or providing substitute resources or environments.

Reverse Osmosis (RO): A process of desalination where pressure is applied continuously to the feedwater, forcing water molecules through a semipermeable membrane. Water that passes through the membrane leaves the unit as product water; most of the dissolved impurities remain behind and are discharged in a waste stream.

Total Dissolved Solids (tds): Total salt and calcium carbonate concentration in a sample of water, usually expressed in milligrams per liter (mg/L) or parts per million (ppm). The state-recommended Maximum Contaminant Level (MCL) drinking water standard for total dissolved solids is 500 mg/L, the upper MCL is 1,000 mg/L, and the short-term permitted level is 1,500 mg/L. Seawater contains roughly 30,000 mg/L.

SEAWATER DESALINATION AND THE CALIFORNIA COASTAL ACT
- MARCH 2004 -

[this page intentionally blank]

Desalination: *Present and Future*

Raphael Semiat, *Water Research Institute, Technion City, Haifa, Israel.*

Abstract: *The need for high-quality water significantly increased during the second half of the last century. While heading towards the third millennium, an important problem is about to be solved at a near-affordable cost. The cost of desalinated water is decreasing, and this trend is continuing. Pure, high-quality drinking water is essential for day to day living, food production, better industry, and a better standard of living. The article summarizes the techniques, trends, economy, environment, energy aspects, and other significant parameters associated with the state of the art of modern desalination. Directions are shown for future research and development work for further reduction in water costs.*

Keywords: *Desalination, evaporators, membranes, reverse-osmosis, nanofiltration, multi-stage flash, multi-effect distillation, vapor compression.*

Introduction

During the preparation of this article, the radio announced that a baby born in August 1999 would bring the current world population to six billion. The need for water is rapidly increasing, and current freshwater resources will not be able to meet all requirements. Water cannot be considered now as a natural, self-renewable, low-cost resource, easily accessible to all. Many years of drought at various locations, followed by desertification and movement of the population towards this essential resource calls for different considerations in terms of economic and social effects.

Desalination of sea (or saline) water has been practiced regularly for over 50 years (Wagnick, 1996, 1998) and is a well-established means of water supply in many countries. It is now feasible, technically and economically, to produce large quantities of water of excellent quality from desalination processes. Challenges, however, still exist – to produce desalinated water for relatively large communities, for their continuous growth, development, and health, and for modern efficient agriculture, at affordable costs.

Two main directions survived the crucial evolution of desalination technology, namely evaporation and membrane techniques. The cost barrier broke during the last few years and is now down to the level of 50 to 80 cents/m³ of desalinated seawater, and the decreasing cost tendency continues. Desalination of brackish water is even cheaper, at costs ranging from 20 to 35 cents/m³. Membrane techniques penetrate deep in water treatment technology wherever possible. Wastewater also is treated with membranes, though rarely. Many countries are now considering desalination as an important source of water supply.

Main Desalination Techniques

The multi-stage flash (MSF) procedure is the most common technique for desalination, found mostly in the Persian Gulf (Awerbuch, 1997b). The technique's world-wide capacity adds up to about 48 percent of the total number of bigger plants having a capacity greater than 4,000 m³/day.

Among other evaporation techniques, the multi-effect distillation (MED) may be mentioned here, either with vertical or horizontal smooth tubes or doubly fluted tubes (see the tower desalination process, Pepp et al., 1997). The vapor compression course is very popular for remote locations, resort areas, islands, etc. These two techniques, though not widely used, are promising as far as good water quality, simple application, reliability, and efficiency are concerned.

Membrane processes, mainly reverse osmosis (RO), are currently the fastest-growing techniques in water desalination. Other types of membranes, described below, are used for water quality improvement.

Membranes

The RO membrane technique is considered the most promising for brackish and seawater desalination (Furukawa, 1997). The RO uses dynamic pressure to overcome the osmotic pressure of the salt solution, hence causing water-selective permeation from the saline side of a membrane to the freshwater side (Faller, 1999). Salts are rejected from the membrane, and hence, the separation is accomplished. The RO membranes used are semi-permeable polymeric thin layers, adhering to a thick support layer. Membranes are usually made of cellulose acetates, polyamides, polyimides, and polysulfones. They differ as symmetric, asymmetric, and thin film composite mem-

branes. Membranes are sensitive to changes in pH, small concentrations of oxidized substances like chlorine and chlorine oxides, a wide range of organic materials, and the presence of algae and bacteria. Therefore, careful pre-treatment is needed in order to prevent membrane contamination and fouling: pre-filtration to remove suspended solids from feed water; dosage of acid (hydrochloric or sulfuric) to remove bicarbonate ions, followed by aeration to remove carbon dioxide; and filtration by active carbon to remove dissolved organic materials and chlorine compounds. Different anti-scalants are used in order to prevent precipitation of dissolved salts due to increased concentration. These are efficient against precipitation of CaCO_3 , CaSO_4 , SrSO_4 , BaCO_3 , but are less effective in the case of silica precipitation.

In order to allow the best ratio of the membrane area to operation volumes, two most convenient designs are made to fit the pressure vessels: spiral-wound and hollow-fibers membranes. Figure 1 shows a schematic presentation of an RO desalination plant. The process takes place in ambient temperature. The only electrical energy required is for pumping the water to a relatively high operating pressure. The use of special turbines may reclaim part of the energy. Operating pressures vary between 10–25 bars for brackish water and 50–80 bars for seawater.

High pressure is needed to allow sufficient permeation at relatively high concentrations of the concentrating brine along the membrane axis located in the pressure vessel. Water conversion can go as high as 90–95 percent in the case of light brackish water, down to 35 to 50 percent recovery in the case of seawater. Low recovery is obtained especially in a relatively closed sea, like the Red Sea or the Persian Gulf.

Increased water temperature, up to the membrane limitation, also increases flux through the membranes. This calls for increased efficiency by using hot seawater flowing from the cooling system of a large power plant. The water quality depends on membrane rejection prop-

erties, the degree of water recovery, and proper system design. Some relatively small molecules like carbon dioxide, hydrogen sulfide, silica, and boric acid may penetrate and pollute the water product. These problems can be solved either by aerating, using ion-exchanger and/or mixing the water to change the content, and dilute concentration. Small organic compounds dissolved in the feed water may also find their way to the product water. Product quality is fair. It depends on feed quality (brackish or seawater); salt content may vary between 100 to 600 ppm of total dissolved solids (TDS). This can be improved by using a secondary stage, which will increase the cost significantly, but is useful in cases where ultra-pure water is needed.

The RO technique is used usually for small and large plants, amounting to about 22 percent of the world's larger plants of capacity above $4,000\text{m}^3/\text{day}$ (Wangnick, 1996). RO systems can easily be integrated within other thermal desalination technologies, namely hybrid systems for efficient water production.

Electro-Dialysis (ED), or the more modern Reversible Electro-Dialysis (EDR), in which ions are forced to pass by means of DC electrical power through semi-permeable membranes into concentrated streams leaving behind dilute salt solutions, were considered to be a promising technique. This was mainly attributed to the relative insensitivity of the membranes for fouling, and due to the thermodynamic transfer properties of this technique. Unfortunately, the technique did not succeed in taking the naturally expected position among other processes. Currently, the technique is in use mainly for brackish water desalination and water purification (Thampy et al., 1999).

Nano-filtration (NF) membranes are used to partly remove heavy salts from water (Hassan et al., 1998). Ultra-filtration (UF) is the modern solution for removing bacteria and viruses from water. Micro-filtration (MF) membranes are used for removal of suspended particles and may provide good protection against *Giardia* and

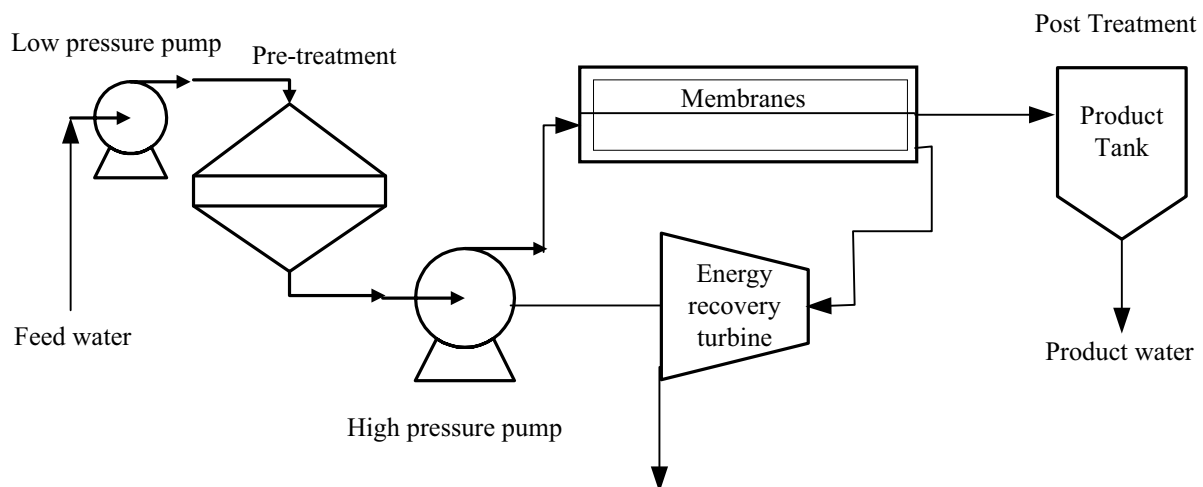


Figure 1. Schematic presentation of a reverse osmosis desalination plant.

Cryptosporidium as well as most viruses. EDR membranes are usually used to remove special salts like nitrates from waters. Some of the above mentioned membranes are used for pretreatment of polluted waters before RO desalination. Membrane processes gradually take their position in water quality, wastewater reclamation, cleaning of industrial waste solutions, etc. (Gagliardo et al., 1998; Johnson et al., 1997).

Thermal Desalination

Multi-Stage Flash

The MSF distillation is currently the most common and simple technique in use. It has operated commercially for more than 30 years (Awerbuch, 1997b). Figure 2 shows a schematic presentation of an MSF desalination plant. Pressurized sea water flows through closed pipes where it exchanges heat, with vapor condensing in the upper sections of the flash chambers. Water is then heated to a certain initial high temperature, using burnt fuel or external steam, and this allows flashing along the lower part of the chambers, from chamber to chamber under reduced pressure conditions. Vapor generated is allowed to flow through a mist eliminator to meet the condensing tubes, where heat is transferred to the heating feed seawater. The condensate drips into collectors and is pumped out as the plant product. Exhausted brine, concentrated in salt, is pumped out and rejected to the sea.

Part of the brine is recirculated with the feed in order to increase water recovery. The technique consumes high

energy, as sensible heat and pumping. Increasing energy efficiency is a function of the number of stages involved, highest temperature of the preheated feed seawater, better heat transfer at the condensing vapor, better utilization of the heat rejected with the product and the rejected brine, controlling and preventing scale formation, prevention of accumulated non-condensable gases, etc. Corrosion is associated with the highest temperatures, existence of dissolved oxygen in the water, and the choice of materials for heat transfer surfaces.

The process is not very sensitive to the initial concentration of seawater. It is also not sensitive to suspended particles, and a simple straining-filtration technique is suitable. Acid and/or anti-scalants may be added to feed water for controlling scale precipitation. This is also an important advantage of the process over other distillation processes, since scale does not precipitate on heat transfer surfaces but within the chambers. Biocides are also used as a pretreatment to prevent microbiological activity. De-aeration is needed to remove oxygen and to reduce the possibility of non-condensing gas accumulation. The described pre-treatments are also suitable for most of the other evaporative desalination techniques.

The product of this technique has the common advantage of most evaporation techniques – water produced with about 50 ppm of TDS, due to drops carried by vapor. It is possible to produce better quality water, down to 10 ppm TDS. The by-product is aggressive and can cause corrosion. It is usually mixed with another source of wa-

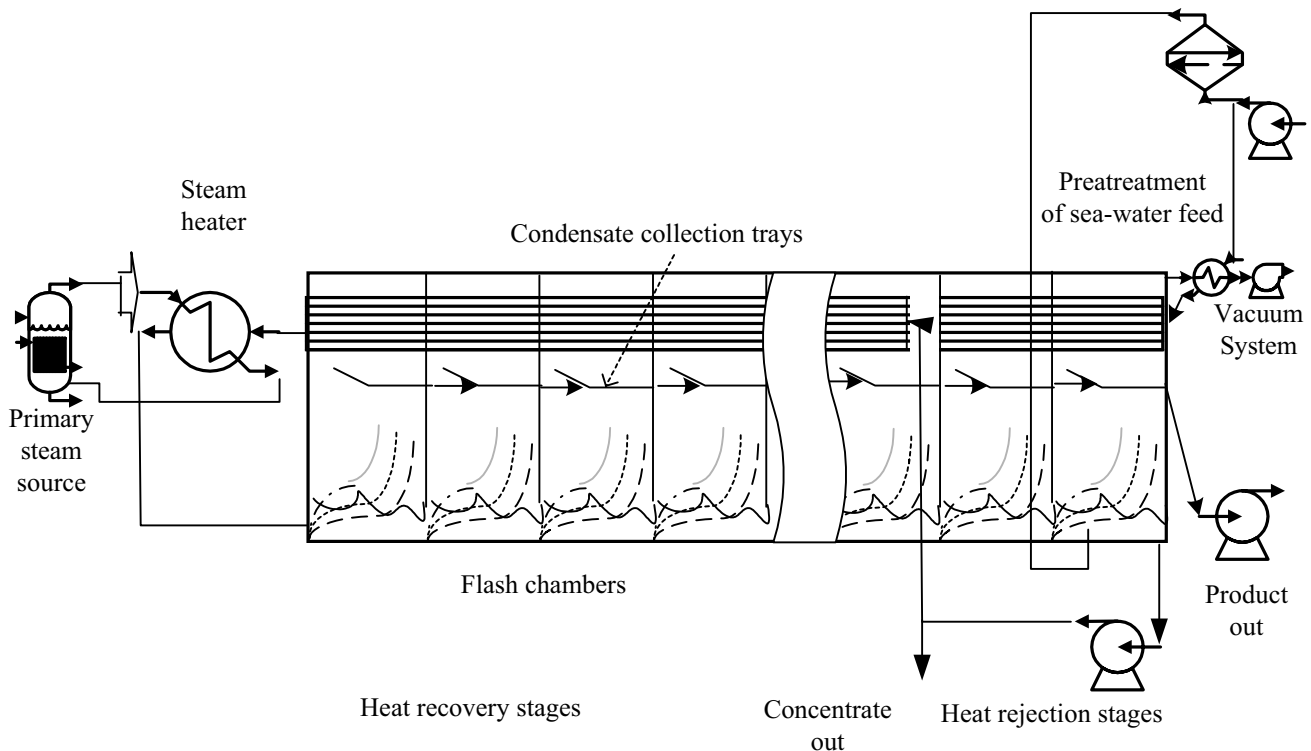


Figure 2. Schematic presentation of a Multi-Stage Flash desalination plant.

ter to control salt concentration and prevent corrosion.

Multi-Effect Distillation

MED is one of the most promising evaporation techniques existing today (Awerbuch, 1997b; Ophir and Weinberg, 1997). The concept of multi-stage evaporation is common in the chemical industry. It has been used for many years for solution concentration, crystallization, solution purification, etc. The process has been used for seawater desalination for the last 25 years. Basically, the method can use low-temperature, low-pressure steam as the main energy source. Steam from burnt coal or fuel can be used, as well as spent steam emerging at the outlet of a steam-operated power station.

The primary steam is used to evaporate heated seawater and to generate more steam at a lower pressure, while the primary steam condensate is taken back to the generation chamber, or to the steam generator of the power station. The secondary steam generated goes into a second stage to condense while transferring the latent heat to low-temperature seawater, flowing in falling film. The process is repeated as many times as the design permits, between the upper possible temperature and the lower possible cooling temperature, which depends on seawater temperature. The condensate is accumulated stagewise as the product water. A vacuum pump takes the remaining vapor after the last condensation stage, to maintain the gradual pressure gradient inside the vessel. Figure 3 describes the schematics of Horizontal Tubes MED unit.

MED operates usually on horizontal or vertical pipes where steam condenses on one side of the heat transfer surface while seawater evaporates on the other. This uses a double film condensing-evaporating heat transfer mechanism that is highly effective. Usually, eight to 16 stages are common in such operations. This allows a good performance ratio, namely the ratio of tons of water produced per ton of initial steam. The ratio in MED can go up to 15, while the corresponding ratio for MSF unit is limited to 10. Recently, a new design was proposed based on the vertical tower, initiated by the South California Water

District, in cooperation with IDE Technologies LTD, Parsons and Reynolds Metals (Dean et al., 1995a, 1995b; Pepp et al., 1997; Weinberg and Ophir, 1997). The design is based on 30 stages of vertical fluted tubes, located in a tall concrete tower. Seawater evaporates on the inside surfaces of the tubes; as water falls down, the steam condenses on the outer side of the tubes. Feed water flows upward, using a single pump, in a different section between the tubes where part of the vapor is used to heat the water while rising. The higher temperature is obtained as in the MSF system, by using external heat. Using the right combination of tube materials for high and low temperatures, combining low cost aluminum as doubly fluted tubes, may reduce the area needed for heat transfer with low corrosion problems. The schematics of this design are shown in Figure 4. The designers claim to be able to produce freshwater at a cost of \$0.5/m³, maintaining a performance ratio as high as 24.

The number of stages is essential for returning better energy utilization. In cases where low-cost heat at lower temperature is available, optimization of operation conditions may lead to a lower number of stages. A low temperature operation yields the ability to use low-cost materials without exposure to severe corrosion problems, while improving plant reliability. The efficiency of the process is also bound by high values of boiling point elevation at high concentrations.

Unlike the MSF technique where water is produced mainly by turning sensible heat into latent heat of evaporation, the MED technique uses latent heat to produce secondary latent heat in each section. The efficiency of production that may be obtained from a unit of feed water is essentially higher than that in the case of MSF distillation.

Different designs like a co-current or counter-current flow of seawater against the direction of the produced steam, can be found. These designs are also different in the path of the circulating brine in connection with the curves of calcium sulfate hydrates saturation vs. temperature. Co-current operation is convenient since the satura-

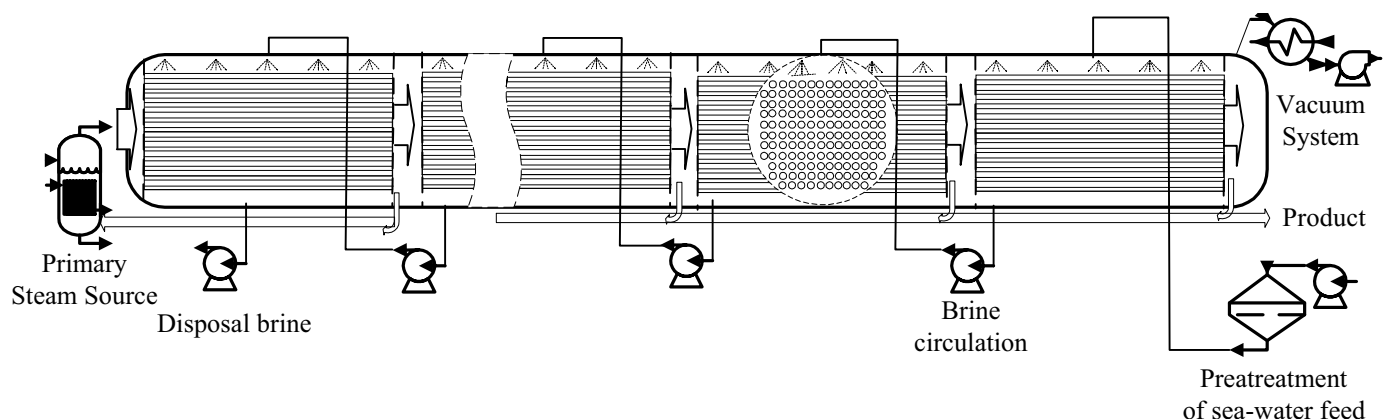


Figure 3. Schematics of a Horizontal Tubes Multi-Effect Distillation plant.

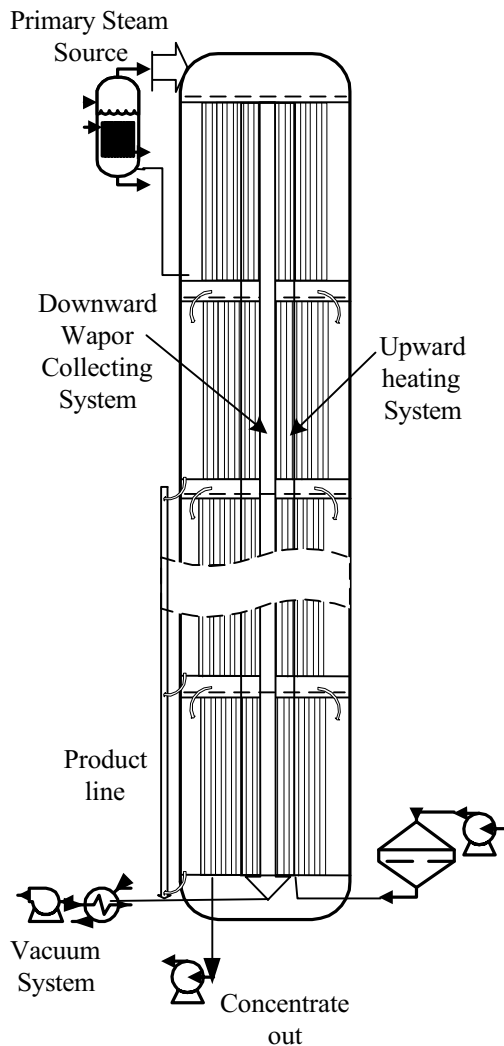


Figure 4. Schematic presentation of the new concept, tower multi-stage vertical tubes desalination plant.

tion level increases while water temperature reduces. In the countercurrent operation, the highest saturation is obtained at the highest temperature. This is an important question of scale control, and is also important in the case of water circulation and pumping expenses. The problem of water flow distribution on the heat transfer surfaces is also essential for fouling control. Co-current operation takes place in the MED-MWD tower design, where the highest temperature is obtained at the lowest concentration. In this design, the brine temperature-concentration curve along the tower is closed, almost parallel to the CaSO_4 saturation-temperature curve.

Vapor Compression

The VC operates mainly at a small scale, on small locations (Awerbach, 1997b). The main mechanism is similar to MED except that it is based on compression of the vapor generated by evaporating water to a higher pressure, which allows reuse of the vapor for supplying heat for the evaporating process. Compression of the vapor

may be carried out by using a mechanical compressor (the most common way), or by mixing with small amounts of high pressure steam (Thermal Compression).

Feed water is preheated against brine and the product leaving the system. Heat transfer usually takes place in the form of a double falling film, which is an effective heat transfer mechanism. The latent heat of the condensing vapor is used to make more vapor on the other side of the heat transfer surface, basically a “heat pump” process, so that the main need for energy is for elevating the pressure to provide the driving force by temperature difference.

The process takes place usually from one to three stages, thus the operating temperature may be chosen for the best optimization of the process. No external heat is needed for the mechanical compressor, so basically the technique relies on the electric power supply. Part of the water circulates to increase the water recovery. Figure 5 presents a schematic view of a mechanical VC unit. VC is considered to be the most efficient evaporation desalination process. The ability to operate at low temperatures makes it possible to use simple metals like aluminum, with almost no corrosion attack and safety from scale formation. The largest units available on the market can produce up to 5,000 m^3/day . The use of electricity makes the technique compatible for use in parallel with other desalination techniques, as hybrid operation for optimization of the energy consumption. A modern compressor presents efficiency of up to 80 percent. The quality of the product is similar to other evaporation techniques. The technique may also be used for part removal of salts that are at the saturation level, in case of low boiling point elevation.

Other Techniques

Significant efforts were invested in many techniques that did not survive the tough evolutionary path. It is important to mention at least some of them, as some are

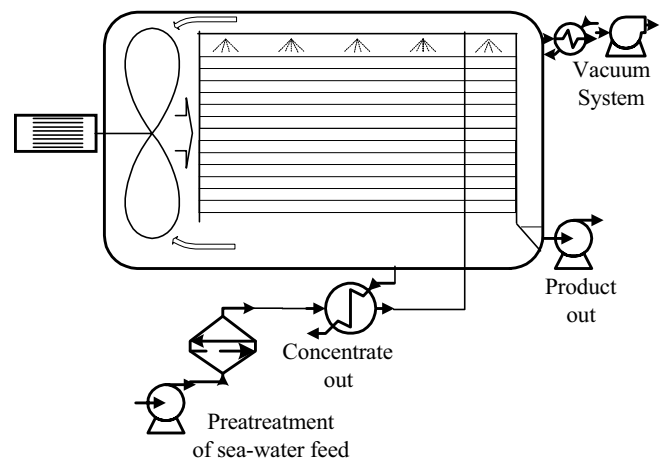


Figure 5. Schematic presentation of a horizontal tube, Vapor Compression desalination unit.

used small scales, and mainly because people tend to forget the old proposals and re-invent the wheel. The solar desalination still is not completely under this category, namely, the use of a transparent cover to allow sun radiation to heat directly a layer of water at the bottom of the still. Water evaporates and the vapor rises to condense on the cover. Condensing vapor accumulates as the product. One of the serious disadvantages of the solar still is that it needs about 250 m² to produce 1 m³ of freshwater per day. This makes it inefficient even for the deserted arid zones, as this form of energy is available only one-third or one-fourth of the time. Different techniques are in use to enhance evaporation in order to reduce the ground area needed. Another form of solar energy that has been checked in the recent past is the solar pond, which may provide heat at a level of 90°C, or close. This method, based on a highly concentrated salt solution at the bottom of the pond that absorbs sunlight and does not mix with the upper layer of the diluted water solution, suffers from many technical problems as well as from low heat efficiency.

Solar cells can be used to supply electricity to run a VC or RO unit. There are different types of energy collectors, viz steam-producing parabolic mirrors, hot oil collectors, or chemical storage furnaces. Solar energy is expensive and therefore not normally used for electricity production. This is the main reason why it was not used in water desalination techniques. Without major improvements, solar techniques can only survive at low production scales in rare conditions, such as for desert communities, where no access to electricity increases the cost of water production or transportation.

Another promising technique is the freezing method, referred to for producing water by precipitation of ice from solution, usually by extraction vapor. The ice formed is free of salts, remaining in the mother liquor. The process can take place close to the triple point where vapor, liquid, and ice may coexist. This was implemented with water vapor as well as with low vapor pressure organic solvents at low temperatures. The freezing technique was proven recently as an adequate technique for a high-capacity ice machine for large cooling and air-conditioning systems.

Different techniques of water extraction using organic solvents, low vapor pressure solvents for freezing, production of clathrates, removal of water from humid air, etc., did not make it either.

Energy Aspects

Optimization of a stand-alone desalination plant yields a relative cost of energy in the range of 30 to 50 percent of the produced water cost. This depends on the cost of energy on the spot, either as electricity or as heat. At a regular cost of electricity, for example, processes using mainly electrical power will consume the lowest available energy cost, like energy from fossil fuel. This is why

a single commercial desalination plant was not based on any other source of energy.

Many researchers and organizations try to relate desalination to renewable energy sources, nuclear energy, solar energy, wind, etc. This tendency increases due to the current trend to reduce atmosphere emission of CO₂ from burnt fuel, in a goodwill to minimize the greenhouse effect. This is also an important issue that needs to be examined, but not at the expense of the desalination processes. The combination of the search for new forms of energy and desalination is fatal for the latter and will cause many delays in utilizing the proper techniques.

No doubt more effort should be devoted towards the use of renewable sources of energy. The real test, however, for any new source of energy is its acceptance of electricity production or other common use of energy. Saving on CO₂ emissions needs to be made on other forms of energy uses and not on such a delicate issue as desalination for freshwater production. Using nuclear energy, which is currently more expensive than fossil energy, is dangerous in areas where political instabilities exist. It is also problematic where technology is not accessible and must be relayed to imported, trained, and sophisticated manpower. Photo-voltaic cells need not only a large investment but also a large collecting area.

There is a claim to benefit from the day-night, summer-winter electricity production cycle, namely to produce desalinated water during the night when lower power is consumed. The main disadvantage is that the desalination equipment will be idle a large percentage of the time. This is wrong, since as in any modern plant, production costs are higher if the equipment is not in full use. In other words, an efficient desalination plant needs to be operated around the clock, 24 hours a day, 365 days a year, with exceptions for maintenance only. During this time, it needs a full supply of energy, at the lowest cost.

Since energy is so important in desalination, a few directions on possible energy usage may significantly reduce desalination costs.

Use of spent energy from large steam power plants: the dual cycle. Every steam cycle power station purges large amount of energy at the condensing stage right after the turbine. This heat may be combined with a thermal desalination technique in order to supply the primary steam, as in MSF and MED (Awerbuch, 1997b). The problem is that efficient power stations release the exhausted steam at around 35–40°C, which is too low for the proper operation of the desalination plant. Instead, it is possible to release the steam at elevated pressure and temperature, using back-pressure turbines, that will fit the desalination plant needs. This will cause some loss of production on the power generation side. This calls for integration and optimization of the two processes together, which are very difficult to perform if two different authorities are involved for power and water production (El-Nashar, 1997). This type of hybridization was successfully employed in for

Persian Gulf countries when the same authority controlled the two industries.

Desalination dedicated power plants. In order to best utilize the energy, it is better to operate a dedicated power station that can produce electricity and heat. The heat, either in the form of rejected steam or hot gases, can be used for thermal desalination, while electricity production can serve either large RO units or several VC units (Awerbuch, 1997a). This mix of such processes in desalination is called the hybrid process, and it is common in the chemical industry. Such a dedicated power station can produce electricity at lower, reliable costs. The total water production cost will be reduced significantly.

Increase production scale and maintain the best energy utilization schemes. This is always true, yet needs to be emphasized.

Environmental Aspects

Desalination processes may be characterized by their effluent to the environment, the air, the nearby land, and to the seas. Desalination is dependent on energy and usually uses fossil energy. All types of air pollution associated with energy production, namely emission of NO_x , SO_2 , volatile compounds, particulate, CO_2 and water exist here as well, either by using electricity produced by a conventional power station or by using a dedicated power station.

Effluents of desalination plants contain relatively highly concentrated water, which depends on the water recovery from the feed brine. In the case of seawater desalination, rejected brine is concentrated close to twice the original sea water solution. The concentrate also contains chemicals used in the pretreatment of the feed water. The latter may contain low concentrations of anti-scalants, surfactants, and acid. To this may be added occasional washing solutions or rejected backwash slurries from feed water. In small operation scales, the problem is mild and no serious damage may affect the marine life. In large scales of water production, the problem is a little more severe; however, dilution and spreading of effluents may solve the problem. Natural chemicals that do not harm the environment will probably replace the added chemicals in the future.

The more serious problems are those concentrates produced inland, in cases of brackish water desalination. The concentrate composition in these is not similar to seawater composition. In most cases the solution contains more calcium and magnesium, and sometimes other components are involved, depending on the composition at the source. The problem is less severe when the solutions are purged into the open sea. Where no access to the sea is possible, the concentrate may increase groundwater salinity if allowed to penetrate the earth. A possible solution to that problem includes zero discharge treatment, namely evaporative separation between solids and water,

so solids may be stored properly inland. This solution may be performed by solar ponds or by forced evaporation using available heat sources. The process is expensive, but the basis for comparison is the cost of brine transportation to the nearest possible authorized area, taking into account the influence of this treatment on the product cost.

Quality of Water Produced

Water produced by the different techniques mentioned varies significantly in quality. Thermal processes may produce water containing five to 50 ppm of TDS, similar in composition to the feed seawater. The RO product may contain 300 to 500 ppm of TDS, basically NaCl and a smaller portion of other salts. Some minor constituents as boric acid, hydrogen sulfide, and CO_2 can also be present in the product, depending on the composition of the feed water, but may be removed by adequate post-treatment. It is important to mention that feed water containing dissolved volatile organic compounds will generate water contaminated with the same components, unless special care is taken. This is true for RO and evaporation techniques.

The product water is aggressive, tends to corrode iron pipes, and dissolves protective layers containing calcium and other salts on the inner sides of the mains. The water needs, therefore, post-treatment that usually includes an increase in the pH level, addition of Ca (to the level of about 100 ppm as CaCO_3) and alkalinity, namely HCO_3^- (also to a level of about 100 ppm as CaCO_3), according to local water regulations.

Desalination Techniques for Water Quality

The development of membrane modules gave a boost to the use of membranes in water purification and treatment. Wilbert et al. (1998) described various treatments available for surface water and other sources. Nano-filtration membranes are used for the removal of hardness from drinking water (Bergman, 1995; Hassan et al., 1998a, 1998b). They can also be used to remove some other unwanted dissolved species, even partial removal of nitrates from ground water. Ultra-filtration and micro-filtration can be back-washed occasionally to remove accumulated solids from the membranes. While MF can be used to remove micron size and upper suspended particles, namely bacteria, algae, etc., UF membranes can also be used to remove most of the viruses found in surface water. In fact, the solid layer, the "cake" that adheres to the membranes in the last two techniques, acts like a dynamic membrane and removes smaller particles even at a level of colloids and viruses. The use of MF membranes might be cheaper than sand filtration in the treatment of surface water. Lyonnaise Des Eaux, the international water company, uses UF membranes combined with active coal and sedimentation stages to purify polluted Seine water for drink-

ing purposes (Baudin et al., 1997).

The use of membranes penetrates into the process industry, where better water quality is needed. Power stations and petrochemical and high-tech production plants seek better quality water and use different types of membranes to meet their needs.

Uses for Sewage Treatment

Membranes penetrate also into wastewater treatment. Many projects at a pilot stage use membranes to treat the water (Gagliardo et al., 1998). In some cases MF membranes are directly used on strained wastewater to remove suspended particles that are too large for the gap between two membranes (Johnson et al., 1997). The treated water is transferred directly to RO membranes to remove salts. Permeate is usually allowed to pass across active coal in order to remove remaining dissolved organic materials. In other cases RO membranes are used to treat effluent after secondary treatment, just to remove most of the remaining dissolved solids.

Economy of Modern Desalination Projects

Awerbuch (1997b) reports that in 1971, the total worldwide desalination capacity was 1.5 million m³/day. Wangnick (1996) reports that 24 years later, namely at the end of 1995, the worldwide total capacity went up to 20.3 million m³/day, in about 11,000 installations spread in 120 countries all over the world. The Persian Gulf Cooperation Council States have installed about 50 percent of world capacity, and they have arrived at a saturation level, so not many new units are currently built in this region.

The Kingdom of Saudi Arabia has the largest world capacity, about 30 percent of the total (Awerbuch, 1997b). The world's largest plant is located in the Al Jubail Phase II complex, which has produced since 1982 close to one million m³/day using the MSF technique. This is followed by the production of 1,300 MW of electric power. About 1,900 units are installed in the USA, having a capacity of over 15 percent of the world's production. In the USA, most of the production is based on RO systems, to treat mainly brackish and surface water.

Figure 6 represents the trend in cost reduction in this industry. The relative cost of spiral-wound membranes since 1980 is shown to decline by more than 60 percent. The membrane industries have grown in the last decade by more than 20 percent per year. The decline in the production cost of spiral-wound membranes occurs despite the fact that the use of membranes is constantly increased (Wangnick, 1998; Furukawa, 1997) and membrane performance continues to improve. The membranes will be significantly improved in the future, and their price probably will continue to decline.

Figure 7 presents a different aspect than Figure 6, but

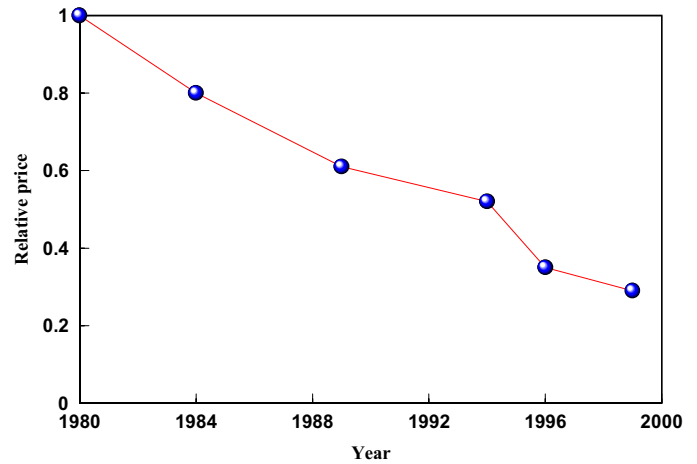


Figure 6. Cost trend of spiral-wound membranes modules.

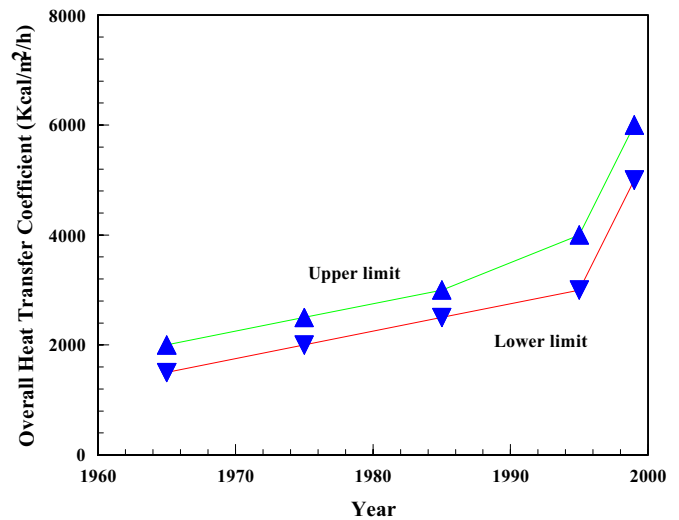


Figure 7. Trend of heat transfer improvements in Horizontal Tubes Multi-Effect Distillation (recent points refer to experimental pilot unit with verticle double fluted tubes).

the significance is similar. The values of the heat transfer coefficient in commercial units of MED systems are improving with time (Ophir and Weinberg, 1997). The significance of this trend is related to further developments and improvements of the flow and heat transfer mechanisms, with more attention to effects of non-condensable gases within the vapor streams, etc. Alfa Laval Technologies announced their recent development based on plate heat exchangers, to improve heat transfer for MED and VC plants. This brings a significant reduction in the heat transfer area needed per unit of water produced, smaller vacuum operated vessels that, in turn, lead to lower water production costs.

The cost differences between the techniques are well illustrated in Table 1. The common production costs together with specific installation costs are shown in the table. The three columns marked by an asterisk represent recent reported numbers from the latest development re-

Table 1. Cost Comparison for Different Desalination Techniques

		MSF	MSF (Singapore)*	MED	MED-MWD*	VC	RO	RO- Tampa Bay*
Installation costs	\$/m ³ /day	1,200- 1,500	2,300	900- 1,000	660	950- 1,000	700- 900	1,000- 1,350
Product costs	Cents/m ³	110-125	150	75-85	46	87-95	68-92	45-56

*Estimation, based on publications or recent proposals.

ported: RO in Tampa Bay, Florida (Leitner, 1999), MSF in Singapore (Leitner, 1998d), and the MED tower of the MWD (Dean et al., 1995b). The differences are quite significant and self-explanatory. The cost of the MSF project is high and so is the product. RO and MED present similar production and specific investment costs. The specific investment of the MED-MWD tower is significantly lower. Among the reasons for low costs of the Tampa Bay project are the convenient financing terms – (30 years and low interest) and low cost of electricity. The MED-MWD tower is based on known, but never used, technologies and on 65 percent recovery from seawater – this was never accomplished.

Different companies presented calculations of the Tampa Bay project, and their results are similar (Leitner, 1998a,b,c). Table 2 presents the cost of water produced in the project, from the viewpoint of different bidders. Again, the main point is that with proper attention, water cost can be significantly reduced.

Figure 8 presents a typical picture of the expenses for RO. As stated before, energy takes about 40 percent of the total cost. Regularly, electrical energy is considered at a cost of six to seven cents/kW. The cost of a regular power station takes into account the daily and seasonal changes in production. A dedicated power station for desalination will produce electricity at a significantly lower cost, say about four cents/kW. This is known and occasionally used in the process industry when large electri-

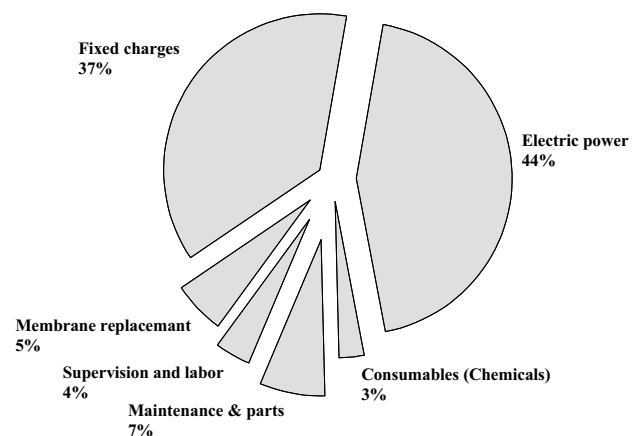
cal consumption is needed. The use of a dedicated power station is possible only in large installations, again, a benefit for plant scale. Figure 9 presents similar cost-share for the MED-MWD tower desalination technique (Dean et al., 1995b). The energy analysis is similar, since in this particular design, the energy comes from spent power-plant steam. Similarity exists also in the other parameters, as can be seen below.

The second large portion of the cost is the part of the equipment. In the case of an RO unit, this may be divided between the cost of membranes, pressure vessels, low and high-pressure pumps, energy recovery turbine, and pre-treatment stages, including large area media filtration. In the case of evaporation techniques the items are heat transfer surfaces, vacuum vessels, pumps and vacuum pumps, piping, etc. As the list is large, no significant cost reduction of any of the mentioned parts will significantly affect the total cost. However, improvement of the pre-treatment stages, the membrane performance in flux and salt rejection, the pump and turbine efficiency, and the heat transfer surfaces in evaporation techniques will definitely reduce the total cost of the produced water.

Feed waters to a desalination plant pass a certain pre-treatment before the actual process takes place. In most techniques, the main constraint of the energy used is independent of the recovery ratio. This is the most important point to understand; namely, after treating the feed and recovering the water, the plant still rejects concen-

Table 2. Developers' Nominal Costs for Desalinated Water, Tampa Bay Project (using tax exempt financing), 94,625 m³/d.

Developer	First Year Cost \$/m ³	30 Years Average Cost \$/m ³
Florida Seawater Desalination Company	0.54	0.65
Florida Water Partners (Parsons & IDE Technologies)	0.53	0.60
Progress Energy Corp. Ionics Partnership	0.56	0.67
Stone & Webster - TIC - Citizens Utilities	0.45	0.55

**Figure 8.** Typical Sea Water Reverse Osmosis water cost.

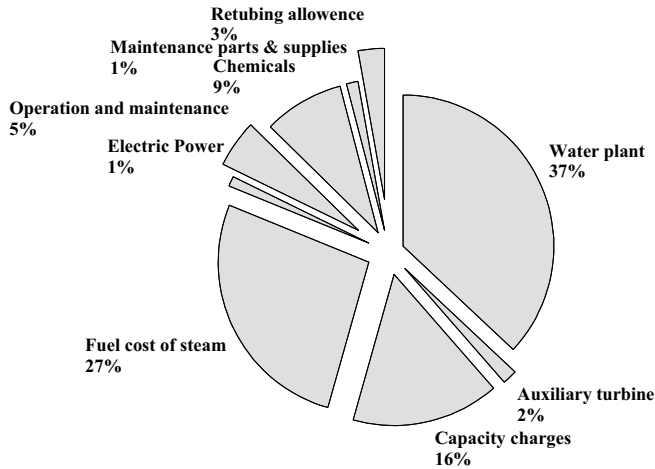


Figure 9. Cost parameters of the MWD tower MED desalination design.

trated brine that contains usable water. In other words, increasing the efficiency of the process by increasing the recovery ratio is a key factor in major cost reduction.

The analysis of a desalination performance is complicated due to the many parameters involved. Examination of operated systems (Leitner, 1995) can make the best and accurate analyses. However, most producers are not willing to release this information. A good estimation may also be obtained from open contests on large projects. Figure 10 presents an analysis made by the four runner-up bidders at the Tampa-Bay project (Leitner, 1998b). This is a good demonstration of the effect of plant size on the production costs. It is clear that the larger the plant size, the lower will be the price the consumer will have to pay.

Future Directions

There is no doubt that desalination techniques even now being matured to produce water on a commercial basis are still climbing on the learning curve. Each new development reduces the cost and takes a further step. It is important to continue the investment efforts in Research and Development (R&D) programs in order to continue and reduce the cost of water production. The key is to invest in new plants, increase the free competitions between producers, and cooperate with research institutes. A few possible directions for future R&D are listed below.

The mechanism of water transfer and salt rejection in RO membranes is not clearly understood. Better understanding at the molecular level will lead to new membranes that may show higher fluxes and better salt rejection.

It is evident that the most expensive steps in membrane operations are independent of water recovery. In-

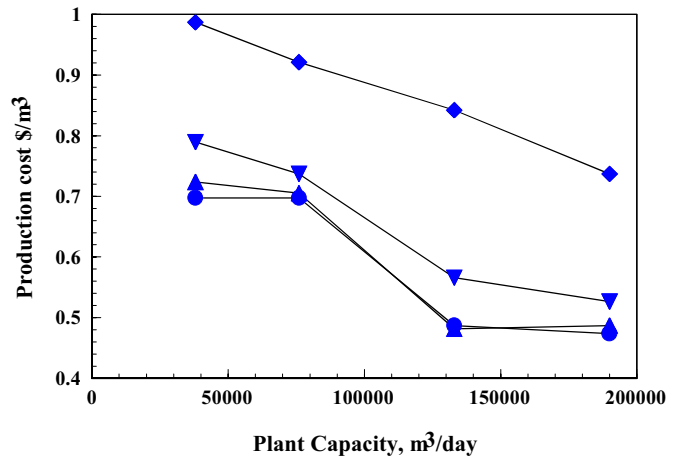


Figure 10. Water cost dependence on plant production. Cost calculation for the four runners-up bidder at the Tampa Bay project. RO seawater desalination.

creasing water recovery is therefore a key for reducing water production costs. Operation of systems with untrained, inexperienced workers increases the need for expensive safety factors, like extra pre-treatments. Better-trained operators and more sophisticated automation and control may result in lower cost of water production.

The VC and MED techniques produce better water quality than the RO process. The two techniques need further development, to improve heat transfer surfaces, reduce equipment size, and improve energy efficiency. Again, more research work is needed.

The energy question is very important, not only for desalination but also for future general energy needs, and in terms of environmental problems. It is necessary, therefore, to continue with international efforts toward revolutionary new renewable sources of energy, which in due time will also be used for desalination.

The implementation of water desalination in existing water systems is a complicated issue that needs strong, intelligent policies. Needs for new water resources are severe in many locations on earth on one hand, but the cost is still high in comparison with common water supplies. It is easier to introduce desalinated water into developed cities where people pay almost threefold or more than the cost of desalination for their water uses. Usually those locations do not suffer from water scarcity. Water is needed in locations where agriculture is still the basis for life, and simple agriculture cannot afford the costs described here. It is a global question of the same type as the usage of energy resources and solutions for environmental problems. The future of mankind depends on proper answers related to those questions, together with the questions of global peace and human wealth on earth. At the moment, without international acts, only local solutions may be given for the water problems.

In the meantime, to summarize and induce a general framework for possible research directions in different desalination directions, a methodical evaluation of R&D needs for achieving meaningful desalinated water cost reductions is presented below.

Reduction of Desalination Energy Requirements

- Develop concepts and schemes for optimal integration, by cogeneration or otherwise, of various energy sources and desalination technologies.
 - (a) Hybrid systems.
 - (b) Solar energy integration.
 - (c) Desalination dedicated power plants.
- Identify novel schemes for improving desalination processes and/or energy recuperation.

Improvements in Current Thermal Technologies

- Develop improved designs and manufacturing technologies for heat transfer bundles and containment vessels that reduce investment costs.
- Develop improved pretreatment methods for controlling scaling, fouling, and bio fouling.
- Consider proposals for increasing heat transfer coefficients to reduce heat transfer areas.
- Improve plant performance through advanced control tools.

Improvements in Current Membrane Technologies

- Develop membranes achieving better performance at reduced permeation pressures.
- Develop an improved methodology for achieving optimal pretreatment.
- Improve the resistance of membranes to oxidizing agents.
- Enhance possibilities of integrating micro and ultra-filtration in feed pretreatment.
- Extend membrane lifetime.
- Improve membrane salt rejection.
- Reduce membrane compaction.
- Develop higher efficiency pumps and energy recovery turbines.

Integration of Desalination Into the Overall Water System

- Widen the scope of water reuse through membrane technologies.
- Focus on processes enabling exploitation of polluted streams.
- Investigate supply and demand curves for water of different qualities by various consumer groups or industries.
- Investigate the effect, of integrating desalination, in varying degrees, in national and/or regional water sys-

tems on the supply and demand for water.

- Develop new concepts for optimal desalination-oriented water supply systems.
- Integration of desalinated water into modern agriculture.

Reduction of Environmental Problems Associated with Brine Disposal

- Development of the zero-discharge concept.
- Development of natural pre-treatments additives.

Conclusion

It is clear that the water desalination industry is currently at an important stage, where the need for water availability and quality is increased in many places. The production cost is declining due to healthy competition, while performance is improving along with production efficiency. No arguments are needed with respect to the quality of the water; the main struggle is still the cost of the production. It is clear, however, that the cost of water is steadily declining so that more people can afford desalination. A small barrier must still be broken in order to facilitate the use of desalinated water in modern agriculture. This too is close to being achieved in the near future.

In order to achieve these targets, significant international research and development efforts are needed. A few international organizations exist that are devoted to these tasks; however, more effort is needed, especially along production lines, for building operating plants, water factories, producing freshwater, and further reducing the cost of water. Future developments do not need to concentrate only on technical aspects. Looking at the global picture, it is important to pay attention to the environment, namely to produce fresh and clear water without causing harm to the surroundings. Therefore, new developments in renewable energies are needed, independently with current and near-future desalinated water production. New techniques are needed to overcome the current pollution-causing aspect of the processes. Desalination techniques will also serve as important tools in the reduction of pollution from waste industrial solutions.

Finally, it is time for an international act to achieve direction and means to benefit from all new developments, together with acts that have already started in relation to energy use and environmental issues to ease the implementation of new sources of water, including desalination, for improving life on earth and reducing fights and wars.

Acknowledgment

The support of the Technion Water Research Institute for this work is well acknowledged.

About the Author



Dr. Raphael Semiat is the head of the Rabin Desalination Laboratory and deputy head of the Water Research Institute at Technion, IIT. He has ten years of experience in process and development in the chemical industry. His main research directions include separation processes, environmental separations, desalina-

tion, and uses of electro-optic techniques in two-phase flows. Dr. Semiat may be contacted at Water Research Institute, Chemical Engineering Department, Technion City, Haifa, 32000 Israel. Email: cesemiat@tx.technion.ac.il.

Discussions open until September 30, 2000.

References

- Awerbuch, L. 1997a. "Dual Purpose Power Desalination/Hybrid Systems/Energy and Economics." IDA Desalination Seminar, Cairo, Egypt, September.
- Awerbuch, L. 1997b. "Current Status of Seawater Desalination Technologies." IDA Desalination Seminar, Cairo, Egypt, September.
- Bergman, R.A. 1995. "Florida – A Cost Comparison Update, Membrane Softening Vs Lime Softening." *International Desalination and Water Reuse* 5, No. 3: 35–43.
- Baudin, I., M.R. Chevalier, C. Anselme, S. Cornu, and J.M. Laine. 1997. "L'Apie and Vigneux Case Studies: First Months of Operation." *Desalination* 113: 273–275.
- Dean, D., R.P. Hammond, D.M. Eissenberg, D.K. Emmermann, J.E. Jones, H.H. Sephton, F.C. Standiford, R.E. Scott, and W.J. Rider. 1995a. "Seawater Desalination Plant for Southern California: Part 1." *International Desalination and Water Reuse* 5, No. 1: 10–16.
- Dean, D., R.P. Hammond, D.M. Eissenberg, D.K. Emmermann, J.E. Jones, H.H. Sephton, F.C. Standiford, R.E. Scott, and W.J. Rider. 1995b. "Seawater Desalination Plant for Southern California: Part 2." *International Desalination and Water Reuse* 5, No. 2: 19–24.
- El-Nashar, A.M. 1997. "Energy and Economic Aspects of Cogeneration Plants for Power and Fresh Water Production." IDA Desalination Seminar, Cairo, Egypt, September.
- Faller, K.A. 1999. "Reverse Osmosis and Nanofiltration." *AWWA Manual of Water Supply Practice*, M46.
- Furukawa, D.H. 1997. "A Review of Seawater Reverse Osmosis." IDA Desalination Seminar, Cairo, Egypt, September.
- Gagliardo, P., S. Adham, R. Trussel, and A. Olivieri. 1998. "Water Purification via Reverse Osmosis." *Desalination* 117: 73–78.
- Hassan, A.M., M. AK. Al-Sofi, A. Al-Amoudi, T.M. Jamaluddin, A.G.I. Dalvi, N.M. Kitner, G.M. Mustafa, and I.A. Al-Tisan. 1998a. "A New Approach to Membranes and Thermal Seawater Desalination Processes Using Nanofiltration Membranes: Part 1." *International Desalination and Water Reuse* 8, No. 1: 53–59.
- Hassan, A.M., M. AK. Al-Sofi, A. Al-Amoudi, T.M. Jamaluddin, A.G.I. Dalvi, N.M. Kitner, G.M. Mustafa, and I.A. Al-Tisan. 1998b. "A New Approach to Membranes and Thermal Seawater Desalination Processes Using Nanofiltration Membranes: Part 2." *International Desalination and Water Reuse* 8, No. 2: 39–45.
- Johnson, W.T., R.W. Phelps, P.J. Beatson. 1997. "Wastewater Reuse Using Membranes." IDA World Congress on Desalination and Water Science, Madrid, October.
- Leitner, G. 1999. "Developer Selected for 25MGD (94,625m³/d) Florida West Coast Seawater Desalting Plant." *Desalination and Water Reuse* 9, No. 1: 11–16.
- Leitner, G.F. 1998a. "Updates on the Tampa Bay Projects." *International Desalination and Water Reuse* 7, No. 5: 14–20.
- Leitner, G.F. 1998b. "Updates on the Tampa Bay Projects." *International Desalination and Water Reuse* 8, No 2: 58–60.
- Leitner, G.F. 1998c. "Updates on the Tampa Bay Projects." *International Desalination and Water Reuse* 8, No 3: 12–13.
- Leitner, G. F. 1998d. "Vibrant, Prosperous, Singapore, Time for Seawater Desalination?" *International Desalination and Water Reuse* 7, No. 4: 10–21.
- Leitner, G.F. 1995. "Water Cost Analysis... We Need To Do Better." *International Desalination and Water Reuse* 5, No. 1: 24–27.
- Ophir, A. and J. Weinberg. 1997. "MED (Multi-Effect Distillation) Desalination Plants: A Solution to the Water Problem in the Middle East." IDA World Congress on Desalination and Water Science, Madrid.
- Pepp, F., L. Weinberg, D. Lee, A. Ophir, and C. Holtyn. 1997. "The Vertical MWD-MED (Multi-Effect Distillation) Process." IDA World Congress on Desalination and Water Sciences, Madrid, October.
- Thampy, S.K., R. Rangarajan, and V.K. Indusekhar. 1999. "25 Years of Eletrodialysis Experience at Central Salt and Marine Chemicals Research Institute Bhavnagar, India." *International Desalination and Water Reuse* 9, No. 2: 45–49.
- Wangnick, K. 1996. "1996 IDA Worldwide Desalting Plants Inventory Report No. 14. Privately published.
- Wangnick, K. 1998. "New IDA Worldwide Desalting Plants Inventory Report No. 15 – 55% Higher Sales and Dramatic Changes in Market." *International Desalination and Water Reuse* 8, No. 2: 11–12.
- Weinberg, J. and A. Ophir. 1997. "Ashdod Experience and Other Dual Purpose Desalination Plants Based on Multi-Effect Desalination with Aluminum Tubes." Symposium of Desalination of Seawater with Nuclear Energy, Taejon, Korea, May.
- Wilbert M.C., F. Leitz, E. Abart, B. Boegli, and K. Linton. 1998. "The Desalting and Water Treatment Membrane Manual: A Guide to Membranes for Municipal Water Treatment." 2nd Edition. *Water Treatment Technology Program Report No. 29*. Bureau of Reclamation, United States Department of Interior.



ELSEVIER

Desalination 152 (2002) 141–154

DESALINATION

www.elsevier.com/locate/desal

The footprint of the desalination processes on the environment

Rachel Einav^{a*}, Kobi Harussi^b, Dan Perry^b

^aBlue Ecosystems, Nature Conservation, Environmental Consulting, EIA, Hagat 177, Zichron Yaakov 30900, Israel
Tel. +972 (4) 6390448; Fax +972 (4) 6392221; email: einavr@blue-ecosystems.com

^bAdan Technical and Economic Services Ltd., POB 18294, Tel-Aviv 61181, Israel
Tel. +972 (3) 5612791; Fax +972 (3) 5612792; e-mail: adantec@netvision.net.il

Received 10 April 2002; accepted 25 April 2002

Abstract

Processes of desalination of seawater are intended to reduce the deficits in potable water both at present and in the future. Water desalination processes offer various environmental benefits (related to sanitation, water softening, quality of sewage effluents), but the process is also accompanied by adverse environmental effects. These effects can be minimized by the appropriate planning. Most of the effects anticipated would then affect the local environment in the vicinity of the desalination plants. Desalination may have an impact on five domains: the use of the land, the groundwater, the marine environment, noise pollution, and finally the intensified use of energy. The impact on land use is caused by the use of the coastal land for the purpose of building factories, thus converting the coastal area into an industrial zone instead of an area of tourism and recreation. The impact on groundwater mainly occurs if pipelines carrying seawater or brine are laid above an aquifer. It also occurs in the case of feed drilling. In such cases the aquifer may be damaged either by infiltration of saline water or by disturbances of the water table. The impact on the marine environment takes place mainly in the vicinity of the concentrated brine discharge pipe. Even though the concentrated brine contains natural marine ingredients, its high specific weight causes it to sink to the sea floor without prior mixing. In addition, chemicals, which are administered to the water in the pre-treatment stages of the desalination process, may harm the marine life in the vicinity of the pipe's outlet. The actual placement of the discharge pipe may also damage sensitive marine communities. Noise pollution: A desalination plant, which is based on reverse osmosis technology, requires high-pressure pumps, which generate noise. Therefore the plant must be located at a suitable distance from population centers. Technological means may be employed in order to minimize noise intensities. A desalination plant may also affect the environment indirectly, such as via the intensified use of energy by the plant. This increased use of energy results in an increased production of electricity by the respective

*Corresponding author.

Submitted to the EuroMed 2002 conference on Desalination Strategies in South Mediterranean Countries: Cooperation between Mediterranean Countries of Europe and the Southern Rim of the Mediterranean. Sponsored by the European Desalination Society and Alexandria University Desalination Studies and Technology Center, Sharm El Sheikh, Egypt, May 4–6, 2002.

0011-9164/02/\$– See front matter © 2002 Elsevier Science B.V. All rights reserved

power station, which in turn results in increased air pollution, pollution by coal dust, thermal pollution, etc. The severity of these effects differs in different areas according to: a) the hydrogeological nature of the marine body (bathymetry, depth, tides, waves, currents); b) the biological sensitivity of the marine habitat; c) the type of desalination plant, its size, the required secondary structures and infrastructure. Environmental awareness and preliminary planning can minimize the adverse effects of the desalination process on the environment.

Keywords: Marine; Environment; Desalination; Brine; Outlet; Intake

1. Introduction

According to the Bible, the first project of desalination was conducted by Moses at the place of Mei Mara in the Sinai desert, where by introducing a piece of bitter wood into the bitter water Moses has turned the previously bitter fluid into potable water. The first scientific report describing a technology designed for the desalination of seawater was published by Thomas Jefferson, the American Secretary of State, in 1791 [1]. Instructions for operation of the technology were posted on notice boards in every ship, for use in a case of emergency. During the Second World War, hundreds of portable desalination devices were used by the troops of the various armies. In the early fifties, research projects were initiated with the aim of lowering the price of the desalination process. The incorporation of membrane processes resulted in a major improvement to the technique. The increase in the standard of living in the developing countries during the second half of the 20th century resulted in an increased demand for water for daily use as well as for industrial use. At the same time, clear water, regarded in the past as a natural resource, available and cheap, had turned into a precious commodity. A number of reasons may be given to explain this process: growth of the population, wasteful use of water, pollution of available water resources, and climatic changes related to global warming. At the beginning of the third millennium, we are facing a revolution in the desalination process, where reasonable costs and a continuous trend of further lowering the costs, will enable the supply of water of high quality at convenient prices, thus allowing expansion of

residential areas as well as an improvement in the quality of life of people all over the world.

The yearly deficit in Israel's water budget, as estimated in 2001, is between 200 and 500 million m^3/y . A desalination plant, such as the one to be constructed in Ashkelon, would be capable of producing 100 million m^3/y of water (320,000 m^3/d), accounting for 20–50% of this deficit. Being the first in a line of plants to be constructed places great responsibility on the planners and on those who approve the plans, to establish proper standards that can meet with environmental demands. The construction of plants for seawater desalination is the preferred environmental option for reducing the water budget deficit, but first the environmental price of such plants should be thoroughly researched and taken into account.

The common technologies for seawater desalination are based on two main processes — evaporation and membrane separation, as shown in Table 1 [2–4]. In general, all processes of evaporation require large amounts of energy and therefore are suitable only to areas that are rich in cheap fuel. The cost of energy is the main production expense in desalination plants (excluding the amortization) and the process of reverse osmosis (RO) is the most efficient desalination process both in terms of energy and costs [5,6]. For this and other reasons reverse osmosis is becoming the established and preferred desalination process all over the world and in particular in Israel, and therefore most of this paper will be dedicated to it.

The process of reverse osmosis is based on the fact that in all salt solutions an osmotic pressure arises whose magnitude is proportional to the salt concentration. When a semi-permeable

Table 1
Common desalination technologies [2,3]

Reverse osmosis (RO)	Membrane processes, the most common system in use. A semi-penetrable membrane separates two solutions of different concentrations.
Electrodialysis (ED/EDR)	Membrane processes. A bundle of membranes is placed between two electrodes and an electric field is induced. It is mostly suitable for brackish water and for the remediation of polluted wells.
Multi stage flash (MSF)	Evaporation processes, in combination with power stations. The system includes a series of compartments. The flow of hot water into a compartment in which there is low pressure results in the evaporation of part of the water.
Multi effect distillation (MED)	Evaporation processes, based on the cycle of latent heat when generating steam, usually used in combination with power stations.
Vapor compression distillation (VCD)	Evaporation processes based on the principle of a heat pump. Repeated cycles of condensation and evaporation.

membrane is placed between two solutions of different concentrations and osmotic pressures, the difference in osmotic pressures will result in a flow of solvent (and a tiny part of the solute) through the membrane, from the less concentrated solution to the more concentrated one. In the process of reverse osmosis, the direction of the solvent flow is reversed by exerting external pressure, higher than the difference in osmotic pressures, on the more concentrated solution.

A reverse osmosis plant consists of a bundle of membranes placed in a pressure chamber, a high pressure pump, a turbine for recovering energy from the high concentration brine which is discharged from the plant, and a system for the pretreatment of the feed water and the product water. In this process (see Fig. 1), the seawater enters a pretreatment system, which contains sand filters, micron filters and a system for chemical dosing. The purpose of this pretreatment system is to protect the membranes from fouling by dirt, biological or chemical deposits. The feed pump generates seawater flow at pressures of 55–80 atm. through the membrane system. The desalinated product water, which has passed through the membranes, then receives a final treatment, which includes the adjustment of its reactivity ratio, the reduction of its corrosivity and its

disinfection. The discharged brine passes through the turbine, which recovers 30–40% of the energy invested by the process pump and is then returned to the sea. A secondary system used for periodical cleaning of the membranes is installed in each reverse osmosis plant.

There are five aspects to the impact of desalination plants on the environment:

1. Adverse effect on land use. As factories are located near the shoreline, seashores serve as the sites for industrial plants and for pumping stations rather than for recreation and tourism.

2. Impact on the aquifer. If a desalination plant is constructed inland in order to minimize the impact on the beach, there is a need for pipes to transport the seawater and brine. Leakage from the pipes may result in penetration of salt water and therefore presents a danger to the aquifer. The aquifer is further endangered if drilling is initiated in order to draw brackish feed water.

3. Impact on the marine environment as a result of returning the concentrated brine to the sea. Although the brine contains materials, which originated in the sea, its high specific weight and the potential presence of additional chemicals introduced in the pretreatment stage may harm the marine population in the area of the discharge of the brine. The installation of the feed and

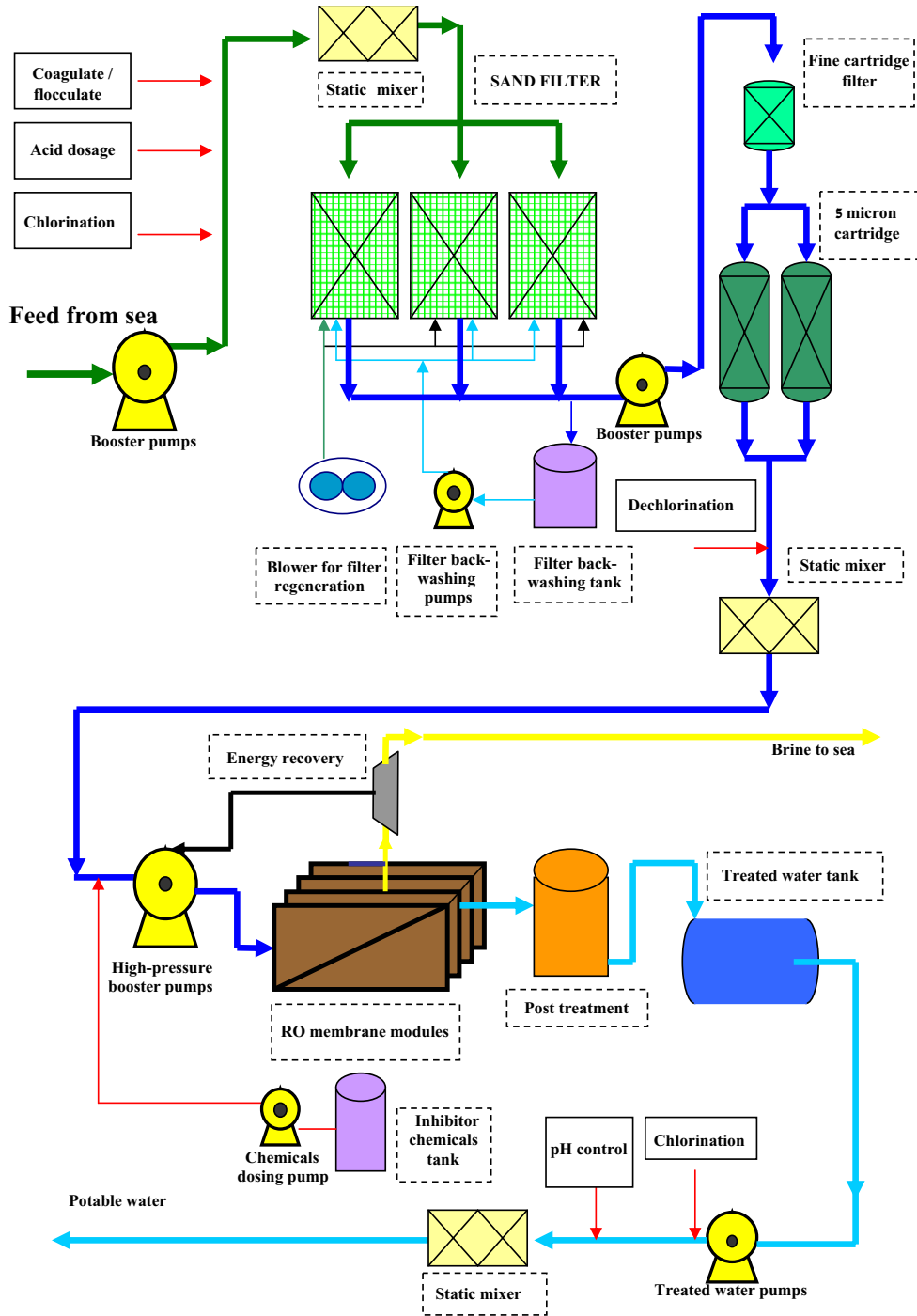


Fig. 1. General layout of a desalination plant employing reverse osmosis technology.

discharge pipes may itself be harmful. Layers of sand and clay may suffer re-suspension during the laying of the pipes and rocky areas and reefs may suffer mechanical blows.

4. Impact of noise. Seawater desalination plants require the use of high-pressure pumps and turbines for recovering energy, which produces noise. They should therefore be located far away from populated areas or equipped with the appropriate technologies for lowering noise intensities.

5. Intensive use of energy. This has an indirect impact on the environment due to the need to increase production of electricity with the well-known related environmental consequences.

2. The use of land

The environmental value placed on the use of land changes from place to place and is dependent on the population density and on the public awareness. In many places this value is negligible, but in places with limited seashores, such as the State of Israel, there is a high value attached to each strip of shoreline, which could be used for internal tourism, external tourism and for conservation of nature. The area required for a seawater desalination plant (including pumps and holding ponds) is about 25 acres for a plant that produces 100 million m³/y. In an area smaller than a 1000 dunams it is possible to desalinate 1 billion m³ of water.

The outline scheme for the development of the coasts of Israel designate limited areas only for heavy industry, no building is allowed within 100 m from the shoreline (with a few exceptions).

One of the solutions for minimizing the use of coastal land when building desalination plants is locating the plants farther inland. This introduces the problem of using pipes for transporting large amounts of seawater and brine, with the danger of pollution to the underlying aquifer from potential leakage. Placing the desalination plant adjacent to areas with established and operating infrastructure, in the framework of infrastructure unification, will minimize this impact.

3. Impact on groundwater

Pipes of seawater laid over the aquifer pose a danger to it as these pipes may leak and salt water may penetrate the aquifer. The coastal aquifer of Israel extends to most areas along its Mediterranean shores and thus lies under most of the potential sites for an inland desalination plant. As a result, the laying of pipes carrying seawater and brine necessitates the use of proper sealing techniques and the installation of detectors, which would stop the pumping in case of a malfunction. The preferred site for a plant is an area where the probability of harm to the aquifer is low.

The supply of feed water from feed drilling is a reliable technology. Its main advantage lies in the provision of clean and filtered seawater, the significant reduction in the danger of pollution, and the stable temperature of the feed water. The use of water from feed drilling also allows for savings in the pretreatment stage. The drawbacks of the system are the danger of disturbing the water table and the aquifer. In many cases (for instance in the plant in Ashkelon) this option was ruled out in advance.

4. Impact on the marine environment

Most of the impact on the marine environment is a consequence of the positioning of the feed pipes and the brine discharge pipes. The initial impact during the laying of the pipes is temporary and confined to the location of the works, but even this impact may be significant, especially in rocky habitats and coral reefs. The severity of the impact is a function of the level of disturbance to the environment and of the natural sensitivity, which in turn is dependent on the specific nature of the habitat and on the specific communities.

The main impact is due to the discharge of the concentrated brine to the sea, and its magnitude depends on environmental and hydro geological factors characteristic of the sea: bathymetry, waves, currents, depth of the water column etc. These factors would determine the extent of the mixing

of the brines and therefore the geographical range of the impact.

Höpner and Windelberg divide the global marine habitats into 15 categories according to their sensitivities to the effects of desalination plants [7] (Table 2). According to the hierarchy, which they suggest, the sites most suitable for the construction of desalination plants are the shores of the ocean (No. 1), in regions of high-energy oceanic coasts. The most sensitive regions (No. 15) are Mangal, mangrove flats. Because of the diversity of species characteristic to them, coral reefs are rated at 13.

4.1. Composition of discharge brines

In all processes of desalination, discharged brines, the concentration of which is higher than that of the natural seawater, are returned to the sea. The concentrations of the brines are usually found to be double or close to double that of natural seawater [8]. In addition to the high concentration of salts, this discharge water contains various chemicals used in the pretreatment stage of the desalination, including various defouling materials. In the case of evaporation plants, thermal pollution is also produced.

Table 2
Sensitivities of marine habitats to desalination plants [7]

1.	High-energy oceanic coasts, rocky or sandy, with coast-parallel current
2.	Exposed rocky coast
3.	Mature shoreline (sediment mobility)
4.	Coastal upwelling
5.	High-energy soft tidal coast
6.	Estuaries and estuary-similar
7.	Low energy sand-, mud- and beach rocks-flats
8.	Coastal sabkhas
9.	Fjords
10.	Shallow low-energy bay and semi-enclosed lagoon
11.	Algal (cyanobacterial) mats
12.	Seaweed bay and shallows
13.	Coral reefs
14.	Salt marsh
15.	Mangal (mangrove flats)

The types and the amounts of the chemicals used depend on the chosen technology and the required quality of the product water. Chemicals that are likely to be found in the brines include antiscaling materials, surfactants, and acids used for the lowering of pH. The salts returned to the sea are identical to those present in the feed water, but they are now present at a higher concentration. In plants of reverse osmosis, the discharge concentration is 30–70%, or 1.3–1.7 times that of the original seawater. This is a higher concentration than the one found for MSF plants where the return ratio is 1.1–1.5 [9–11].

The chemicals used in the pretreatment of seawater are mainly [12,13]:

- NaOCl or free chlorine, used for chlorination, preventing biological growth (antifouling).
- FeCl₃ or AlCl₃, used for the flocculation and removal of suspended matter from the water.
- H₂SO₄ or HCl, used for pH adjustment.
- SHMP (NaPO₃)₆ and similar materials, prevent scale formation on the pipes and on the membranes.
- NaHSO₃, used in order to neutralize any remains of chlorine in the feed water.

All these materials (in concentrations and amounts which are similar to those used in desalination plants) are approved for use by the American EPA and most of them are used in systems for drinking water. Chemicals that dissolve in seawater may contribute ions identical to the ions already present in the seawater. For instance, sulfuric acid increases the concentration of the SO₄ ion from 3020 to 3050 mg/l, an increase of about 1% above the natural concentration of seawater (based on technical information from the Hydranautics company and its redesign simulation package). Cleaning of the membranes is conducted 3 or 4 times a year, and the chemicals used are mainly weak acids and detergents (citric acid, sodium polyphosphate and EDTA which is used in order to remove carbonate deposits). The rinse water is kept in a titration container and after being treated (titration, neutralization of the cleaning

materials), it is disposed off either by transporting it in closed containers to an authorized salt disposal site, or by the continuous flow of small quantities together with the discharged brine back to the sea. The high dilution ratio (about fifty to one million) ensures very low concentration of rinsing materials in the brine returned to the sea. Tables 3–5 show some estimates regarding the materials, which would be returned to the sea in the planned desalination plant in Ashkelon [12].

4.2. Dispersion of the concentrated salts

The major environmental problem associated with a desalination plant is how to get rid of the surplus of concentrated brines. In most cases, these brines cannot remain on land because of the danger they pose to the underlying groundwater and because of other potential and severe environmental impacts. A natural disposal site for these brines is the sea, but an appropriate techno-

logy is required in order to insure the proper dispersion of the concentrated solutions and thus minimize their adverse effects on the marine environment. Several alternative techniques are available for this purpose, and the choice between them would depend on the particular conditions in the area, taking into consideration the environmental, engineering and economical aspects. The alternative techniques are:

- Discharging the brines by a long pipe far into the sea.
- Direct discharge of the brines at the coastline.
- Discharging the brines via the outlet of the power station's cooling water
- Directing the brines to a salt production plant.

4.3. Discharging the brines by a long pipe far into the sea

The brines, which would be routinely returned to the sea, would form a plume of highly saline seawater, corresponding to their amount and to the conditions of the sea (depth, bathymetry, currents, etc.). The plume would sink to the sea

Table 3
Flows of seawater and brine

	Feed — seawater	Discharge brine returned to the sea (including rinse water)
Hourly flow, m ³	13,000	6,750
Concentration of salts, mg/l	40,500	77,920
Total amount of salt, t/h	526	526

Table 4
List of chemicals and the amounts used in the pretreatment stage

Chemicals	Doses, mg/l	Flow, kg/h	Daily amount, t	Accumulated volume (diluted material), m ³
Sodium hypochlorite	6	80	1.9	120
Sulfuric acid 98%	30	390	9.4	100
SHMP (scale remover)	6	80	1.9	120
Iron chloride — flocculant to treat suspended colloids	4	50	1.2	120
Sodium bisulphate	4	50	1.2	120

Table 5
Cleaning and rinsing of the membranes

	Yearly amount, t	Storage volume, m ³
Citric acid	70	30
Sodium tripolyphosphate	50	20
EDTA	30	10

floor and its effects would extend over a range of hundreds of meters.

As this presents a continuous and cumulative source of pollution, it would result in a continuous damage to the biota within the plume's vicinity. It is therefore desirable to place the point of brine discharge far away from the beach and from rocky areas which are rich in organisms, as well as far away from areas where large numbers of people are involved in activities such as recreation, touring, fishing etc.

Most of the data in the literature and most of the practical experience regarding the flow of liquids into the sea is related to various forms of sewage discharge, where the effluents float on the seawater because of their lower densities. These forces of buoyancy are important in the dilution process of water jets [14] but do not exist in the case of concentrated brine discharge. The process of brine dilution is a combination of two physical processes: the primary (jet) dilution and the natural dilution.

The rate of the jet dilution process depends on the difference in densities (a function of the concentration of salts and of the temperature) between the concentrated brine and the seawater, as well as on the momentum, the rate of the flow and the velocity at the outlet of the discharge pipe. The jet dilution is further affected by the diameter of the discharge pipe and by the depth of the sea floor. In the case of brine, the water jet descends to the bottom and the effectiveness of this stage is reduced. Appropriate planning of the discharge pipe, such as the incorporation of diffusers directed upwards, may improve the jet dilution process [15,16].

The second phase is the natural dilution (turbulent dilution), which takes place following the jet dilution stage, mainly as a result of processes of diffusion and mixing which are generated by marine currents and waves. It varies according to the marine conditions.

Installation of diffusers on the discharge pipe boosts the turbulent dilution. The diffusers enable the increase in the pressure of the entering solutions

and increase the volume of seawater in contact with the brine, therefore improving the mixing. The success of the diffusers operation depends on their number and on the space between them. It is possible to improve the dispersion efficiency by using special diffusers, such as Red Valve diffusers. These boost the brine pressure at the outlet of the discharge pipe and thereby improve the dilution. Another option is the use of diffusers directed at an angle of 30–90° to the sea floor, so that the concentrated brine is pushed in the direction of the surface of the sea.

The main effects on the marine biota would be in the vicinity of the discharge pipe and would be related to the increase in the concentration of salt. This would mostly affect benthic organisms dug in the sandy bottom as well as planktonic organisms. The salinity is expressed in weight of salts per ‰ and in most seas and oceans its value varies between 32–38‰, which is the range to which most marine creatures have adapted. The eastern part of the Mediterranean is more saline than its western part [17]. In the Red Sea salinities may reach a value of 41‰.

Marine organisms exist in an osmotic balance with their environment and an increase in the concentration of salts in this environment may result in the dehydration of cells, decrease of the turgor pressure and death (mainly of the larvae and young individuals). The biomass in Israel's Mediterranean coasts is composed of species, which have originated from Pacific and Atlantic species. The Atlantic species, found in the Eastern Mediterranean, are at the limit of their tolerance to the water salinity, while species that have originated in the Pacific can cope more easily with an increase in salinity.

The sensitivity to the increase in salinity varies from species to species. To the best of our knowledge, no systematic research has yet been conducted on the tolerance of the various species in our region to variations in salinity. Some of the planktonic algae, and in particular the siliceous ones, can tolerate high salinities (these species appear in coastal salt marshes, such as the Bardawill), but

most of the species will not survive. Certain species are able to tolerate higher salinities after a period of acclimatization, but the nature of the discharge flow would not enable the foundation of a population of halophile species at the outlet of the discharge pipe.

The sensitivity of the invertebrates, mainly that of crabs, varies but in general it is found that long abdomen invertebrates are more sensitive to an increase in salinity than short abdomen ones. The larvae of crabs and of other invertebrates, which float in the water, are more sensitive than the adults to changes in salinity [18–21].

Data from systematic monitoring of the dispersion of concentrated brines in marine outlets is scarce, and the only information we have available is from Cyprus and the Canary Islands. Two desalination plants operate in Cyprus: the plant in Dhkelia, which has operated for 4 years and the new plant in Larnaca, which has operated for a few months only [7,22].

4.3.1. *The plant in Dhkelia*

The length of the discharge pipe is only 250 m. The suction feed pipe is only 200 m away from the outlet of the discharge pipe and extends 150 m into the sea. The Cyprus Department of Fisheries monitors the site. An increase in salinity within a range of 100–200 m from the outlet of the discharge pipe has been reported [23–26]. In a dive performed on March 7, 1999, around the area of the outlet of the discharge pipe, an impact to the life of the littoral fauna and the flora was observed, as witnessed by the disappearance of certain species from the littoral due to the increased salination in that area.

4.3.2. *The plant in Larnaca*

The plant in Larnaca was built by the IDE and Oceana companies. At present it is owned by IDE, which will remain the owner for the next 10 years, at which point the ownership will be transferred to the government of Cyprus. The plant was

completed a few months prior to the writing of this paper. It is intended to produce 54,000 m³ of water daily and a similar amount of brine. Following the experience in Dhkelia, the Cyprus Department of Fisheries demanded that a discharge pipe of 1 km length at least would be provided, with its outlet at a depth of more than 10 m below sea surface. The existing pipe is 1500 m long and is located 25 m below the surface. The suction feed pipe is 1100 m long and is located more than 2 km away. According to Marina Argiro (Cyprus Department of Fisheries), the first measurements conducted in the site point to good dilution conditions.

An impressive study carried out in the Canary Islands was presented in a conference that took place on the 28–31 of May 2001 in Cyprus. The work included both a survey and the monitoring of the dispersion of concentrated brines past the outlet of the discharge pipe, and the influence on the marine flora [27]. The research was carried out at the plant of Maspalomas II. The plant produces about 17,000 m³/d (about 10% of the amount expected in the plant of Ashkelon). The discharge pipe is 300 m long, its diameter is 60 cm and the water depth is 7.5 m. It should be noted that the topographic structure of the sea floor in the area is characterized by a shallow shelf extending out a few meters followed by a steep fall off. The sea in the region of the island is often rough, and the tide rises about 2 m. The measurements were conducted by divers under calm conditions of the sea. Even though dilution was satisfactory at the surface of the sea, sinking of concentrated and dense solutions to the bottom was still observed. In measurements that were conducted later in the region of the plume, a concentration of more than 60‰ was detected at a distance of 100 m from the outlet, and as a result other regions within the plume are to be monitored. The plume took an elongated form, resembling a salty underwater river flowing in the direction of the fall line. Impacts on the local marine flora in the vicinity of the outlet were observed.

4.4. Direct discharge of the brines at the coastline

The alternative of discharging concentrated salt solutions directly at the coastline is not recommended by the authors of this paper, although under certain conditions (small plants, insensitive shore) it should be given some consideration because of economical factors. Brine water, which is continuously returned to the sea, will form a plume of high salinity seawater, depending on the marine conditions and other factors. The effect will be noticeable at distances of hundreds of meters from the outlet (depending on the amounts of the brines). Even if the brines would be mostly diluted at a short distance from the outlet, during the many days in which the sea is calm (such as during easterly winds), the secondary dilution would be negligible. On those days the damage to the coastal habitats would be high. This method is not recommended for seas with high sensitivity, or for large desalination plants, or for areas with population of high environmental awareness.

In Malta there is a desalination plant that has been operating for many years. The plant discharges the concentrated brines directly into the sea, but dilution with seawater is fast due to the great depth (27–30 m). To the best of our knowledge, no environmental survey was conducted in the region (personal information, Domovic Darko).

In Saudi Arabia there are several large-scale desalination plants in operation (quoted as producing one billion m³/d) but the general environmental awareness in the country is very low. The concentrated brines are discharged directly into the sea and contain chemicals from the pretreatment stage as well as membrane cleaning materials. The brines are carried away by the tide and by the marine currents. We estimate that the depth of the sea is greater than that of the Mediterranean, and therefore the dilution is faster (personal information, Nicos P. Isaias and Gerhard L. Schanz).

In Kuwait there are a number of large and energy costly desalination plants that are based mostly on the evaporation processes and are

combined with power stations. The concentration of brines at the outlet is lower than the discharge concentrations in plants of reverse osmosis. There is now a tendency there to change to RO plants. The country lacks general environmental awareness and the concentrated brines are discharged into the sea [28].

In Qatar there is a number of large desalination plants in operation, utilizing both reverse osmosis and evaporation technologies (MSF). Large amounts of brine are generated and there is also an associated increase in temperature, but the concentration of salts is relatively low. There is a general lack of awareness as to the environmental effects of the brines. In an essay describing the environmental effects of the plant [9], the marine inlets and outlets are described. The outlets are located near the coastline, and therefore in order to enlarge the plant it became necessary to build a 2 km long feed suction pipe for phase B of the plant.

An interdisciplinary study was conducted in Florida, USA, aimed at checking the effects of the discharge of concentrated brines (and sometimes of hot water) from various outlets [29,30] on the environment. The plants which were studied were small scale ones, the largest plant producing 5500 m³/d and most of the other plants produced much less. The highest salinity of brine measured was 39 ppt as compared with a background salinity of 35 ppt. The tide in the area varies between values of 1–1.5 m. In most instances the concentrated brines were discharged directly into the sea, but in some cases discharge was accomplished using a short discharge pipe. The population of invertebrates (foraminifera), fish and seaweeds were monitored and so were the salinities along cross sections of 10 m length (in varying directions), both along the sea floor and at sea level. There was no preliminary inspection of the study area and no comparison with a control population. According to the researchers, no significant changes were noted in communities of biota along the sections. Higher concentrations of salt were found in the direction of flow.

4.5. Discharging the brines via the outlet of the power station's cooling water

This option suggests using the hot water discharged from the power station for the dilution of the concentrated brines. The main environmental advantage is the high dilution ratio achieved. An additional advantage lies in the relatively low specific weight of the hot water, which would partially offset the high specific weight of the brines and would therefore reduce their tendency to sink to the bottom.

The combination of a power station and a desalination plant holds many advantages, though most of these are relevant to plants that are based on the various evaporation systems and not to reverse osmosis plants [6,28, 31–33].

Calculations made in Ashkelon and Hadera indicate that the total salinity of the water at the vicinity of the outlet of the discharge pipe would increase by 1 to 5%. According to the available models for dispersion [34,35], the effect of the added brine will disappear at a distance of a few meters from the outlet. In terms of environmental considerations, the preferred mode of operation using this alternative would be to use the existing outlet and monitoring system of the cooling water of the Electricity Company so as to avoid an added impact to the marine environment.

4.6. Directing the concentrated brines to a salt production plant

This option, whereby the salts pumped from the sea are utilized for salt production rather than returned to the sea, presents many environmental and economical advantages. Its only drawback is the small number of salt producing plants found in the vicinity of desalination plants. If using this technology, there would be an advantage to the additional reprocessing of the brines through the membranes, thereby increasing the salinity of the discharged water.

This option is partially employed in Eilat. The Mekorot plant in Eilat (which in the past was based on the Zarchin system) is based nowadays

on reverse osmosis and produces almost 12 million m³ of desalinated water each year. Part of the feed water is brackish water from drilled wells (9 million m³ in concentrations of 3500–6000 mg chlorides per l) and the rest of the feed is seawater. The concentration of the brines generated from the brackish water is 70% and the brines generated from seawater reach a concentration of 50%. The brines exit the plant at concentrations that are 2.0–2.5 times higher than the concentration of seawater. The brines are then transferred from the plant to the Salt Company ponds and any surplus (the amount of which varies with the varying seasons), is transferred to the Eilat bird watching center. At the grounds of the center the brines are combined with brines from other sources (the fish growing farms, seaweed growing plant), and are then transferred in an open canal to the sea. As the canal passes through an area, which is a highly saline marsh, and as the flow is by a strong current, it seems that there is no penetration of brine water into the groundwater. The canal's outlet is located in the northern beach area and to the best of our knowledge the rate at which the brine disperses in the sea has not been monitored (personal information, Rafi Iphargan).

5. Noise pollution

A seawater desalination reverse osmosis plant is a noisy plant. Most of the noise is produced by the high-pressure pumps and by the turbines used for energy restoration [36,37]. The impact of the noise does not allow for the operation of a large desalination plant in the vicinity of a population center without the use of technological means. Means for decreasing the noise level include the building of canopies over the pumps and the appropriate acoustical planning of the plant.

6. Intensified use of energy

The intensified use of energy by the desalination plant results in indirect environmental impacts, since the energy requirements of the plant increase

the production of electricity, the burning of fuels and in turn the boost the process of global warming. The energy required to desalinate a m^3 of water varies from one plant to another and from technology to technology, and the reverse osmosis technology is the most energy efficient.

Based on various publications, it is estimated that the amount of electricity required to produce 1 m^3 of water varies between 3.5–4.5 kWh/ m^3 . We estimate the optimal value to be 4.5 kWh/ m^3 . The amount of coal needed to produce one kWh is 353.8 g. The corresponding amount of crude oil (which varies from plant to plant) is approximately 234.9 g for one kWh. (this data provided courtesy of Dr. Michal Perla, Electrical Company). A plant producing 100 million m^3/y water would require an electrical output of 50–60 MW.

7. Conclusions

The processes of desalination as a source for potable water are about to become more widespread. Our duty as citizens and as planners is to be aware of the environmental aspects related to the various processes and in each case to consider the environmental costs as well as the requirements and the financial costs.

In a paper, which deals with the problems caused by processes of desalination, it is also important to address the numerous advantages, both direct and indirect, of adding desalinated water to the existing water system. The main purpose of seawater desalination is to offset present or future deficits in potable water, by producing water of good quality at a reasonable price. However, the amounts and the quality of the produced water highlight several additional environmental advantages. These advantages are dependent on the intended point of use of the desalinated water as well as on the volume and quality ratio between this water and the rest of the water in the water supply system.

The added environmental advantages of the use of desalinated water are:

a. Improvement in quality and sanitation — by adding to the general water supply water that is free of pollutants, carcinogenic materials, organic materials, viruses as well as of offending colors, tastes and scents.

b. Softening of the water — the advantages to the average household from the softening of water include prevention of clogging of water pipes, prevention of scale formation in boilers and kettles, improvements in laundry and dish-washing efficiencies, etc. The advantages to the industry include savings on water softening expenses, economizing the use of anti scaling materials, etc. The softening of water also reduces the need for detergents and this reduced usage would improve the quality of sewage water.

c. Advantages to the agriculture and the environment — the use of treated wastewaters which contain high concentrations of dissolved salts, sodium, chloride and boron, harms agricultural growth and especially harms sensitive crops. This use damages the soil, interferes with proper drainage, causes the accumulation of salts in the substrata, and even damages the underlying groundwater. It has been observed that salination has already damaged the aquifer and a large number of wells have already been shut down. Any damage to the soil, to the crops and to the groundwater brings with it further damage to the environment and to the economy. The Israeli quality requirements of the product water from desalination specify an upper limit of 0.4 mg/l for boron, so that the product water is bound to be low in salinity, and thus the concentrations of chloride and sodium would be 10–100 mg/l. In addition, there is the potential for a decrease in the amount of salts that are now being added to urban sewage due to the softening of industrial and domestic water. Thus desalination is expected to reduce the salinity of treated wastewater, with all the related implications, including the ability to make intensive use of treated wastewater in various agricultural applications and even as potable water. The only way to insure the preservation of

natural water systems is by the addition of artificially produced water for domestic and industrial use.

A balanced environmental evaluation of the processes of desalination will take into account the extent to which the population requires the water, the ability to allocate water for agricultural, industrial and nature preservation needs, as well as the need for drinking water.

A balanced environmental evaluation of the processes of desalination will take into account the level of sensitivity of the corresponding environment, both marine and terrestrial, to the environmental impacts of the desalination plant, and the costs of minimizing these impacts.

A balanced environmental evaluation of the desalination processes will take into account the economical and environmental costs of the various technologies for acquiring water, such as (deep) drillings, recycling, use of brackish water, etc. Taking into account the various environmental aspects, there is an apparent advantage to the use of reverse osmosis processes over the use of evaporation processes [9,37–38].

By employing intelligent planning and the appropriate technologies, it is possible to minimize the adverse effects of seawater desalination plants on the environment. The environmental awareness of the planners, the designers, the decision-makers and the public during the early stages of planning and construction, will enable the construction of environmentally friendly plants.

References

- [1] T. Jefferson, Obtaining Fresh from Salt Water, History of Congress, Appendix. Philadelphia, 1791, 1042–1046.
- [2] A. Zfaty, Report submitted to Israel Water Commissioner, 1997 (in Hebrew).
- [3] Adan, Report submitted to Israel Water Commissioner, 1998 (in Hebrew, ADN4285a).
- [4] Adan, Report submitted to Israel Water Commissioner, 2000 (in Hebrew).
- [5] W.S. Winston and K. Sirkar, Membrane Handbook, 1992.
- [6] T. Altman, New Power and Water Co-generation Concept with Application of Reverse Osmosis (RO) Desalination, Salzgitter Anlagenbau GmbH, 2000.
- [7] T. Höpner and J. Windelberg, Elements of environmental impact studies on the coastal desalination plants, *Desalination*, 108 (1996) 11–18.
- [8] C. Vanhems, Critical Review of Desalination Concentrate Disposal to Surface Water, USA, 1992. (after UNEP, 2001).
- [9] A.J. Morton, I.K. Callister and N.M. Wade, Environmental impact of seawater distillation and reverse osmosis processes, *Desalination*, 108 (1996) 1–10.
- [10] R. Zimmerman, Dhekelia Desalination Plant, Environmental Impact Assessment, 1996.
- [11] R. Zimmerman, The Larnaca seawater desalination plant, Environmental impact Assessment, 1999.
- [12] A. Zfaty, Report submitted to Israel Water Commissioner, 2000 (in Hebrew, ADN5787).
- [13] K. Harussi, M Sc. Technion, Haifa, 1997 (in Hebrew).
- [14] UNEP, Assessment of the State of Pollution of the Mediterranean Sea by Zinc, Copper and their Compounds. Document UNEP (OCA)/MED WGer inf3., 1995, p. 121.
- [15] R. Burrows, K.H.M. Ali and K. Spencer, Experimental observations of salt purging in a model sea outfall diffuser with eight soffit connected risers, *Wat. Sci. Tech.*, 38(10) (1998) 269–275.
- [16] R. Burrows and K.H.M. Ali, Saline wedge purging of sea outfalls. *Marine Wastewater Discharges*, (2000) 523–530.
- [17] O.H. Oren, Seasonal changes in the physical and chemical characteristic level of the Mediterranean waters of Israel, PhD thesis, The Hebrew University, Jerusalem, 1970.
- [18] C.J. Dawes, *Marine Botany*. John Wiley & Sons, Inc., 1998.
- [19] J.S. Levinton, *Marine Ecology*. Prentice-Hall, Inc. USA, 1982, 526 p.
- [20] J.S. Levinton, *Marine Biology*, Oxford University Press, USA, 1995, 420 p.
- [21] R. Einav, Ecophysiological adaptation strategies of intertidal marine macroalgae Mediterranean, Israel, *Dissertations Botanicae*, J. Cramer, Ed., Berlin, Stuttgart, Bd 208, 1993.
- [22] R. Einav, EIA for Desalination plant, Ashkelon. *Blue Ecosystems*, 2001.
- [23] C.N. Charalambous, Water management under drought conditions, *Desalination*, 138 (2001) 3–6.
- [24] M. Argyrou, Impact of Desalination Plant on Marine Macrobenthos in the Coastal Waters of Dehkelia Bay,

- Cyprus, Internal Report, 1999.
- [25] O. Villa Sallangos, E. Kantilaftis, Operating experience of the Dhekelia seawater desalination plant, *Desalination*, 139 (2001) 115–123.
- [26] N.X. Tsiourtis, Desalination and the environment, *Desalination* 138 (2001) 1–2.
- [27] J.L. Perez Talavera and J.J. Quesada Ruiz, Identification of the mixing processes in brine discharges carried out in Barranco del Toro Beach, south of Gran Canaria (Canary Islands), *Desalination*, 139 (2001) 277–286.
- [28] M.A. Darwish, On electric power and desalted water production in Kuwait, *Desalination*, 138 (2001) 183–190.
- [29] N.J. Blake, C.W. Dye, M.D. Farrell and M.A. Hammond, Effect of Disposal of Seawater Desalination Discharges on Near Shore Benthic Communities, Phase I Report. Southwest Florida Water Management District, Electric Power Research Institute, University of South Florida, 1996.
- [30] M.A. Hammond, N.J. Blake, C.W. Dye, P. Hallock-Muller, M.E. Luther, D.A. Tomasko and G. Vargo, Effect of Disposal of Seawater Desalination Discharges on Near Shore Benthic Communities, Phase one Report. Southwest Florida Water Management District, Electric Power Research Institute, University of South Florida, 1998.
- [31] V.V. Slesarenko, Heat pumps as a source of heat energy for desalination of seawater, *Desalination*, 139 (2001) 405–410.
- [32] S. Barak, *Water & Watering*, 4 (2000) 406–411 (in Hebrew).
- [33] M. Perla, The Israel Electric Corporation Ltd., 2000 (in Hebrew).
- [34] A. Glazer and M. Dadon, The Israel Electric Corporation Ltd., 2000 (in Hebrew).
- [35] M. Sladkevich, E. Kit and M. Gluzman, Numerical simulation of cooling water recirculation for the Rutenberg power station. Prepared for the Israel Electric Corporation Ltd. Technion City, Haifa, PN 371/94, 1994.
- [36] Z.A. Sabri, G.P. McLaggan and R. Hagenson, Safety and environmental impact of fossil fouled desalination plants, Proc. 7th International Symp. on Fresh Water from the Sea, 1 (1980) 99.
- [37] UNEP, Seawater Desalination in Mediterranean Countries: Assessment of Environmental Impact and Proposed Guidelines for the Management of Brine. UNEP(DEC)/MED WG. 183/Inf.6, 2001.
- [38] M. Mickley, R. Hamilton, L. Gallegos and J. Truesda, Membrane Concentrate Disposal, AWWA Research Foundation and American WaterWorks Association, 1993.

***COSTES ECONÓMICOS Y MEDIOAMBIENTALES
DE LA DESALACIÓN DE AGUA DE MAR.***

Autor: Dr. Manuel Latorre

COSTES ECONÓMICOS Y MEDIOAMBIENTALES DE LA DESALACIÓN DE AGUA DE MAR.

Resumen

La actualidad del debate hidráulico que enfrenta a las diferentes fuentes de recursos, hace necesaria la definición de los diferentes conceptos que integran los costes de cada una de ellas, así como la actualización de los mismos a fecha de hoy.

La presente ponencia presenta las perspectivas de las inversiones a realizar en desalación, en los próximos años, detallando los costes de capital y explotación, mostrando una revisión de los mismos en los últimos años y su aplicación en algunos de los últimos proyectos licitados.

Por otra parte la utilización de argumentos medioambientales, no siempre correctos, respecto al impacto medioambiental de la desalación, hace necesaria la desmitificación de tales efectos y la evaluación técnica de los mismos. Los aspectos energéticos, la caracterización y efectos de los vertidos y la calidad del agua producto son mostrados desde el punto de vista técnico a lo largo del documento.

Palabras clave: desalación, costes, vertidos, impacto medioambiental

1.- Introducción

Desalar es eliminar o reducir las sales contenidas en el agua, pero este proceso que a fecha de hoy nos parece tan sencillo ha evolucionado sustancialmente en las tres últimas décadas.

La desalación se venía practicando en Oriente Medio a unos costes elevadísimos, porque era la única forma de suministrar agua a la población de aquellas áridas tierras, y las tecnologías utilizadas consistían en evaporar el agua con sales para luego recoger los vapores desprendidos y condensarlos. Pero producir ese vapor era caro y se empezó a asociar la desalación con la producción de energía eléctrica, que también se necesitaba en importantes cantidades en aquellos países.

Así surgen las plantas duales que producen electricidad y agua tratando de mejorar las ineficiencias de ambos procesos para reducir los costes del agua. Sin embargo era muy difícil discernir en dichas plantas lo que eran realmente costes asociados al agua y costes asociados a la electricidad, puesto que había que producir vapor tanto para alimentar las turbinas que producían kilowatios como los evaporadores que producían agua desalada.

El coste era como se puede suponer elevadísimo, pero sea porque en unos casos se disponía de petróleo en abundancia y barato, y en otros el producto industrial final que se obtenía permitía pagar esos elevados precios, esos procesos siguieron adelante y directa o indirectamente han influido en el desarrollo de las tecnologías de desalación.

El cambio se inicia hace unos 25 años cuando se empiezan a comercializar las primeras membranas de osmosis inversa, que solo permitían su utilización para desalar agua salobre, es decir de hasta unos 10-12 gr/l de sales totales, y a un precio que si no barato empezaba a ser razonable, especialmente si se comparaba con lo que había en el mercado en aquél momento. Parecía que si se había conseguido producir una membrana separadora de sales que permitía desalar agua salobre, pronto se iba a conseguir una membrana para desalar agua de mar.

Transcurrieron hasta 10 años hasta que la nueva membrana apareció en el mercado. Y es que para desalar agua salobre bastaba con que la membrana rechazara un 85 % de las sales, mientras que para desalar agua de mar tenía que rechazar más del 98 % y eso no era tan fácil de conseguir, pues si para desalar aguas salobres la membrana tenía que soportar presiones de 30 a 40 Kg/cm². para desalar agua de mar tenía que soportar más de 60 Kg/cm², por lo que existía un problema mecánico además del químico, que no fue muy fácil de resolver durante años.

Al fin se consiguen membranas con un rechazo igual o superior al 99 % y se empiezan a utilizar con resultado diverso en la desalación de agua de mar, pues

de un lado el agua desalada seguía teniendo un contenido alto de sales, por lo que había que volverla a desalar, esta vez con membranas de agua salobre, con lo que aunque se incrementaban los costes de inversión en las instalaciones y el consumo energético, se estaba muy por debajo de las otras tecnologías comerciales entonces utilizadas, y es que en este último concepto la energía, está la base de todo el desarrollo.

Pero es que además aquellas membranas que funcionaban tan bien en los laboratorios luego al llevarlas a la realidad planteaban numerosos problemas, y entonces es cuando se empieza a tomar conciencia de que para desalar no hace falta solo tener buenas membranas, sino que además es necesario conocer muy bien su comportamiento y acondicionar el agua para que las membranas puedan durar mucho tiempo y por tanto producir un agua mas barata. Y esto se logra cuando empiezan a producirse membranas con rechazo de sales superior al 99,2 % lo cual se produce alrededor del año 1.986.

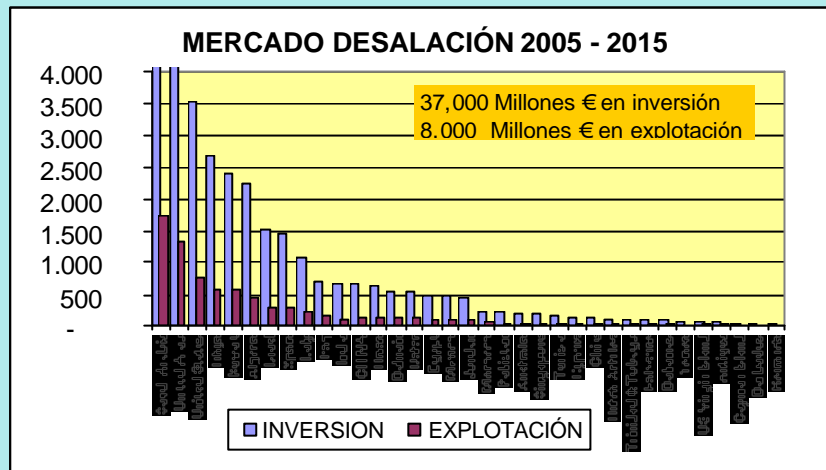
En los últimos diez años el avance de la investigación ha permitido la disminución progresiva de los costes de las membranas, lo que unido a la mejora de rendimientos de equipos ha propiciado la reducción de los costes del agua desalada.

Las tablas siguientes muestran las perspectivas que en materia de desalación se prevén en los próximos diez años, según un informe de Global Water Intelligence de 2004.

Situación del mercado

REGIÓN	INVERSIÓN 2005-2015 Millon \$			OPERACIÓN Millon \$
	Membranas	Térmico	TOTAL	(2015)
Americas	3650	90	3750	840
Asia	2110	100	2210	430
Mediterráneo	6120	2790	8930	1770
Gulf& Red sea	5050	9780	14830	3410
TOTAL	16940	12760	29720	6450

PERSPECTIVAS



2.- Costes económicos

La desalación es una tecnología utilizada para conseguir un producto final determinado, es decir podemos asimilarla a un proceso industrial, y como en todos los procesos industriales es necesario invertir un capital, consumir energía y hacer funcionar la maquinaria de la mejor forma posible, por tanto estos son los capítulos que deben considerarse cuando se habla de costes de la desalación.

Si hace unos años no se le daba demasiada importancia a la financiación, hoy en día, al construirse cada vez plantas desaladoras mas grandes y ser necesarios en consecuencia volúmenes de capital mayores, hay que recurrir a préstamos y en consecuencia las condiciones que se puedan conseguir para los mismos, pueden ser decisivos a la hora de la adjudicación de un contrato de suministro de agua.

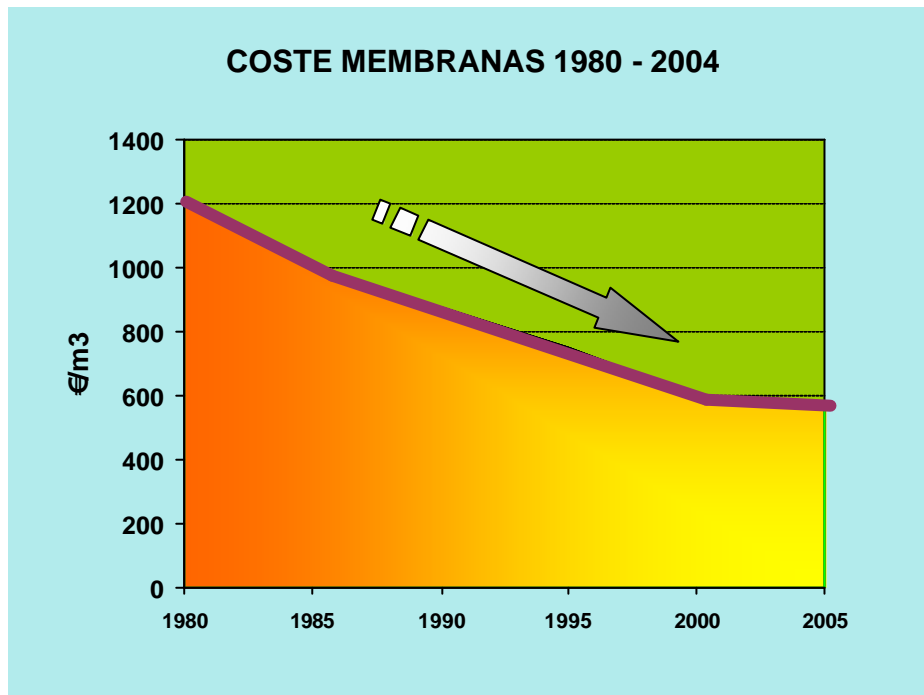
Si al hablar de inversión siempre se hace referencia a la economía de escala que hace que la inversión por m³/día producido sea tanto menor cuanto mayor sea la

planta, también esto ha sido cierto hasta hace poco tiempo en cuanto al consumo energético, puesto que se han ido construyendo módulos cada vez mayores porque al aumentar el tamaño también aumentaba la eficiencia energética de los equipos.

Sin embargo esto último ya no es tan cierto, especialmente desde que han aparecido en el mercado nuevos equipos de recuperación de energía que se adaptan perfectamente a instalaciones de pequeño tamaño.

Inversión

Los costes de inversión se han reducido considerablemente, especialmente por el abaratamiento del precio de las membranas, que además de ser cada vez de mayor calidad, valen la mitad de lo que valían hace diez años.



El resto de los elementos técnicos de la instalación han ido subiendo a un ritmo muy lento, pero principalmente debido a la competencia que se ha introducido en el mercado entre distintos fabricantes, que hace unos años no existía.

En el siguiente cuadro se recogen unos costes medios por m³ de la inversión, que como se ve depende en gran medida de la capacidad de la planta.

	COST M\$	CAPACITY M3/DAY	TYPE	COUNTRY	COSTE UNITARIO \$/m3	PROMEDIO
ALGIERS EAST	140	100.000	SWRO	ALGERIA	1.400	1.345
ALGIERS WEST	140	100.000	SWRO	ALGERIA	1.400	
HAMMA	225	200.000	SWRO	ALGERIA	1.125	
ORAN	140	100.000	SWRO	ALGERIA	1.400	
SKIKDA	140	100.000	SWRO	ALGERIA	1.400	
CHENNAI MANALI	30	15.000	SWRO	INDIA	2.000	1.276
CHENNAI MINJUR	330	300.000	SWRO	INDIA	1.100	
HALDIA	80	110.000	SWRO	INDIA	727	746
ASHDOD	90	123.000	SWRO	ISRAEL	732	
ASHKELON	225	281.000	SWRO	ISRAEL	801	
HAIFA	90	123.000	SWRO	ISRAEL	732	
PALMAHIM	90	123.000	SWRO	ISRAEL	732	
SHOMRAT	90	123.000	SWRO	ISRAEL	732	1.091
BARI	60	55.000	SWRO	ITALY	1.091	
BRINDISI	60	55.000	SWRO	ITALY	1.091	1.143
SALALAH	40	35.000	SWRO	OMAN	1.143	
SOHAR REFINERY	6	12.000	SWRO	OMAN	500	1.250
SUR	25	20.000	SWRO	OMAN	1.250	
KARACHI	60	95.000	SWRO	PAKISTAN	632	1.000
GAZA	60	60.000	SWRO	PALESTINE	1.000	
TAWEELA RO	350	227.300	SWRO	ABU DHABI	1.540	1.306
CARLSBAD	270	189.000	SWRO	USA	1.429	
CORPUS CHRISTI	125	95.000	SWRO	USA	1.316	1.316
DANA POINT	130	100.000	SWRO	USA	1.300	
FREEPORT	125	95.000	SWRO	USA	1.316	1.270
HUNTINGTON	240	189.000	SWRO	USA	1.270	
LONG BEACH	75	35.000	SWRO	USA	2.143	1.689
MOSS LANDING	76	45.000	SWRO	USA	1.689	
PLAYA DEL REY	70	45.000	SWRO	USA	1.556	827
PORT EVERGLADES	78,6	95.000	SWRO	USA	827	

COSTE MEDIO A NIVEL MUNDIAL

1.168 \$/m3
1.007 €/m3

La amortización de estas cantidades va a depender del tipo de interés a aplicar, y según las circunstancias de los mercados financieros actuales puede estar comprendida entre 0,10 y 0,22 euros/m³

Explotación

Es el principal componente de los costes de operación de una planta desaladora y según los casos también de los costes totales, incluida la inversión.

Por ello gran parte de los avances conseguidos en el campo de la desalación han ido dirigidos a la reducción del consumo energético, bien mediante el desarrollo de tecnologías más eficientes energéticamente, o a través de mejoras en los propios equipos de la planta desaladora.

En el cuadro siguiente se puede ver como ha evolucionado a la baja el consumo energético a lo largo de los años

Variación del consumo energético en plantas desaladoras

Año	Tecnología	KWh/m3
1970	MSF	22
1980	MSF	18
1985	VC	15
1988	VC	13
1990	RO	8,5
1994	RO	6,2
1996	RO	5,3
1998	RO	4,8
1999	RO	4,5
2000	RO	4,0
2001	RO	3,7
2002	RO	3.5
2004	RO	3.4

En los restantes costes que influyen en el precio de producción del agua desalada, personal, reactivos químicos, mantenimiento, etc, no se han producido variaciones tan importantes.

Aunque pueden existir diferencias importantes entre unas desaladoras y otras, el aspecto que mas repercute en el coste total es el tamaño de la planta que influye en la reducción de los costes relativos a la mano de obra, y como ya se ha visto también en la amortización.

En cuanto a consumo de reactivos, las diferencias dependen del tipo de toma de agua que se puede conseguir, y que está más relacionado con las condiciones hidrogeológicas del terreno, que permitan una captación por pozos o por el contrario la necesidad de recurrir a captación abierta.

También dependen de esta los gastos en reposición de membranas y filtros. Los gastos de mantenimiento se han ido reduciendo como consecuencia de la introducción de materiales especiales en la construcción de equipos, altamente resistentes a la corrosión.

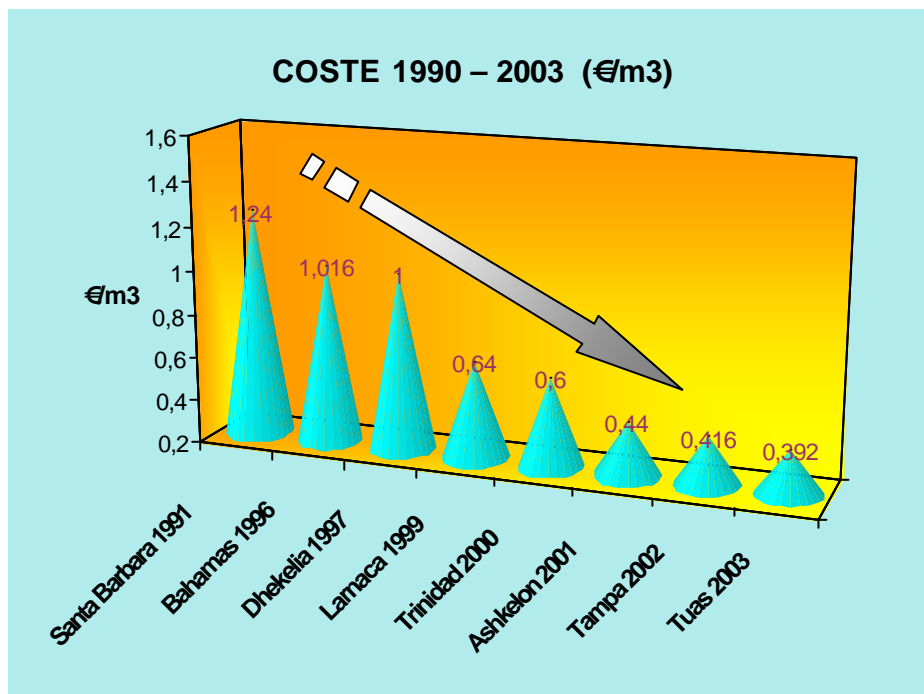
Costes totales

Como se ha mencionado anteriormente, la reducción del precio de las membranas junto con la mejora en rendimientos de equipos ha propiciado la disminución de los costes totales considerablemente a lo largo de los últimos años.

Variación de los costes totales del agua de mar desalada en España

Año	EU/m ³	US \$/m ³
1970	2,1	2,33
1980	1,81	2,01
1985	1,11	1,23
1990	0,96	1,07
1992	0,87	0,96
1994	0,75	0,83
1996	0,66	0,73
1998	0,58	0,64
2000	0,52	0,58
2001	0,48	0,53

A nivel mundial la disminución de costes viene reflejada en el siguiente gráfico, donde se muestra la reducción de los mismos en las últimas grandes plantas licitadas.



La calidad de las membranas, la durabilidad de las mismas y los costes de reposición han mejorado enormemente gracias a las nuevas técnicas de fabricación y enrollamiento automático de estas membranas, permitiendo a las empresas suministrar sus productos a costes muy competitivos. Todo esto se traduce en plantas sumamente eficaces.

Los nuevos sistemas hidráulicos de recuperación de energía, conocidos por cámaras isobáricas, son una solución idónea para plantas pequeñas (<15.000 m³/d). Aunque empiezan a instalarse en plantas mayores, los diseños actuales tienen limitaciones en el dimensionamiento de equipos. Para plantas convencionales mayores de 20.000 m³/d con turbinas tradicionales (aunque mejoradas) de recuperación de energía hidráulica y bombas centrífugas, los consumos de energía rondarán entre 3,1 -3,4 kWh/m³ de agua desalada. De estos números se deduce que el coste de la desalación, sólo por los costes de la energía, está entre 0,13-0,22 €/m³ de agua desalada.

Los costes de productos químicos también se han reducido en los últimos años. Las plantas de última generación apuntan a una utilización mínima de aditivos anti-incrustantes o controladores de oxígeno (ninguno es tóxico y persistente) y existen ya algunas plantas que toman el agua de pozos costeros muy limpios que no utilizan ningún tipo de producto. Esto es así gracias a los avances en los materiales de las membranas. Estamos hablando por tanto de unos costes en productos químicos que rondan los 0,018 €/m³. A este coste de pretratamiento hay que añadirle el coste del post-tratamiento para remineralizar el agua con calcio y carbonatos que varía entre 0,006 a 0,024 €/m³.

Los costes de operación y mantenimiento se han reducido bastante gracias a los automatismos y, sobre todo, a la mejor calidad de los materiales y al mejor diseño de los equipos. Aquí juegan la dimensión de las plantas y los costes del personal, pudiendo oscilar los costes entre 0,06 y 0,09 €/m³ de agua desalada.

Las plantas de osmosis inversa tienen en principio una vida operativa larga (~20 años) a pesar de trabajar con agua de mar. Sin embargo, la mayoría se han quedado obsoletas después de 10 años y hay que renovarlas para mejorar su eficacia. No obstante el coste de esta renovación se compensa con las mejoras en los rendimientos de los equipos, de forma que la inversión necesaria es amortizada con el ahorro logrado en costes de explotación.

3.- Costes medioambientales

3.1 Ubicación

Una de las críticas que la desalación viene sufriendo últimamente hace referencia al excesivo espacio físico que requieren las instalaciones, así como su ubicación en zonas costeras donde la actividad turística podría verse afectada.

La ubicación de las instalaciones de desalación ha de regirse por rigurosos análisis previos de forma que se estudien en detalle todos aquellos condicionantes que pueden afectar al diseño y funcionamiento de la desaladora. En este sentido, quisiera introducir el concepto de matriz de ubicación para instalaciones de desalación, similar a la matriz de evaluación de impacto ambiental, tan ampliamente usada.

UBICACIÓN A	Impacto medioambiental		Características obra	
			Técnicas	Inversión
Captación Vertido				
Entrega producto				
Suministro eléctrico				

Es necesario el estudio detallado de las condiciones de captación, vertido, entrega del agua producto y suministro eléctrico de cada una de las alternativas de ubicación planteadas. Evidentemente no siempre se reunirán las mejores condiciones de cada apartado en una misma ubicación, pero la comparativa entre ubicaciones indicará cual de ellas es la más idónea.

Este análisis previo evitaría problemas posteriores como por ejemplo los acaecidos durante la construcción de la Planta Desaladora del Nuevo Canal de Cartagena, ubicada en San Pedro del Pinatar, para abastecer a la Mancomunidad de los Canales del Taibilla. Esta desaladora de 20 Hm³ anuales, se ubicó atendiendo únicamente a su proximidad al canal de entrega del agua producto, lo que ha motivado hasta la fecha unos retrasos considerables, unos modificados que superan el 90 % del presupuesto de adjudicación y una afección medioambiental importante debido a la necesidad de construir un emisario submarino de más de 4 Km. de longitud a través de la pradera de Posidonia oceanica.

3.2 Vertidos

Otro de los aspectos que implican un coste medioambiental importante es el de los vertidos de salmueras procedentes de las desaladoras. En primer lugar ha y que caracterizar el vertido, señalando que en ningún momento se añade al mar más sal de la que se extrae mediante la captación del agua bruta que se precisa en el proceso de desalación. La cantidad de sal extraída es la misma que la devuelta,

salvo que a una mayor concentración al retener la mitad del contenido en agua captada que queda como agua producto o desalada.

Los vertidos procedentes de la Planta Desaladora consisten fundamentalmente en un 98,5 % en rechazo de agua con alto contenido salino y en un 1.5 % en agua de lavado de filtros y productos de limpieza.

1.- Salmuera o agua con alto contenido salino. Su concentración de sales depende del agua bruta a desalar, en nuestro caso agua con un contenido salino en torno a los 6000 mgr/l. Representa el 98.5 % de los vertidos de una Desaladora y su evacuación se realiza en continuo.

Se muestran a continuación los análisis correspondientes al agua bruta de entrada a la Planta Desaladora y a la salmuera vertida al mar, donde se observa la concentración salina del efluente.

IÓN (mgr/l)	AGUA BRUTA (mgr/l)	SALMUERA (mgr/l)		PERMEADO (mgr/l)		
		1ª ETAPA	2ª ETAPA	1ª ETAPA	2ª ETAPA	TOTAL
NH4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
K	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Na	13937.28	20277.37	27800.80	59.33	97.55	73.58
Mg	460.00	669.98	919.53	0.37	0.61	0.46
Ca	260.00	378.68	519.74	0.21	0.34	0.26
Sr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ba	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CO3	22.53	33.84	47.59	0.00	0.00	0.00
HCO3	175.00	252.84	344.34	0.94	1.47	1.14
NO3	1.00	1.45	1.98	0.01	0.02	0.02
Cl	22100.10	32154.39	44085.74	92.04	151.34	114.15
F	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SO4	1440.00	2097.60	2879.30	0.55	0.90	0.68
Boron	4.72	6.57	8.63	0.67	1.03	0.81
SiO2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CO2	0.94	1.39	2.12	0.95	1.52	1.16
TDS	38422.87	55903.68	76648.31	157.30	258.15	194.90
pH	8.00	7.98	8.02	6.18	6.15	6.16

2.- Agua de retrolavado de los filtros de arena. Este efluente es discontinuo con una frecuencia diaria y una duración de 15-20 minutos, siendo conducido a una estación de tratamiento que garantiza la eliminación de materia tanto orgánica como inorgánica a través de un sistema de fangos. Representa el 1,30 % del volumen total de vertidos con una evacuación discontinua.

3.- Productos de limpieza de membranas. Se incluyen en este tipo de vertido los productos empleados para la limpieza de las membranas de osmosis

inversa. La frecuencia de los lavados depende de la calidad del agua bruta; una frecuencia de un lavado por año de servicio, representa un 0.05 % del total de los vertidos.

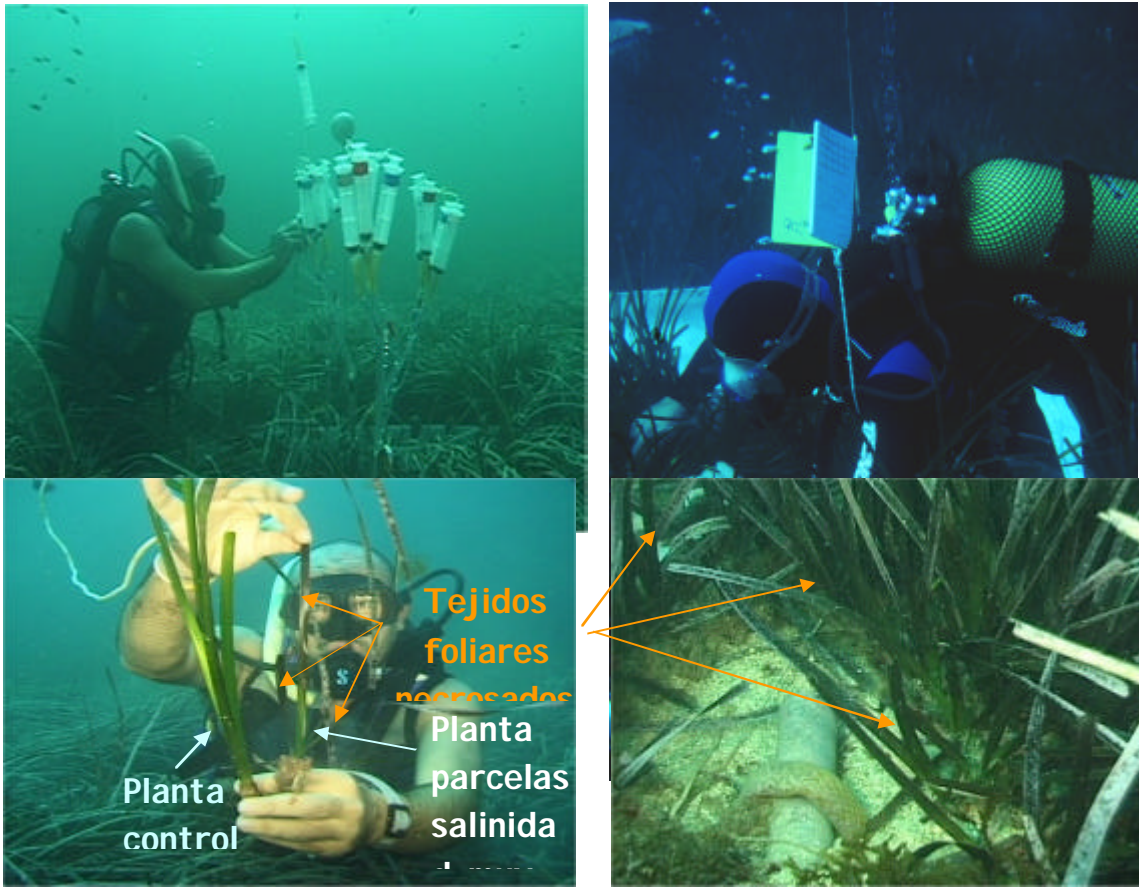
Los principales productos empleados en la limpieza de las membranas son detergentes con alto grado poder biodegradable, ácido cítrico, Hidróxido Sódico y otros en menor proporción. Todos ellos presentan homologaciones para uso industrial y/o humano y son compatibles con el entorno.

En la Planta Desaladora se dispondrá de una arqueta de neutralización de productos de limpieza de membranas, con el fin de acondicionar los parámetros físico-químicos de este efluente antes de su incorporación al vertido, todo ello de acuerdo con los requisitos de la normativa sobre vertidos de sustancias peligrosas al mar.

4.- Reactivos químicos de acondicionamiento del agua bruta y agua producto. Necesarios para adecuar las diferentes etapas de pretratamiento y postratamiento del agua. Al incorporarse al agua bruta de alimentación a las Desaladoras, no constituyen un vertido. En aquellos casos excepcionales en los que se produzca una rotura se tratará su neutralización previa al disponer las Plantas de arquetas y balsas de seguridad.

Con el fin de evaluar la incidencia de la salmuera sobre las praderas de Posidonia oceanica, la Sociedad Estatal ACSEGURA, firmó en el año 2000 un convenio de colaboración con el CEDEX para la realización de un estudio que determinara los impactos de instalaciones existentes. El citado convenio incluía la participación de reconocidos organismos como el Consejo Superior de Investigaciones Científicas (Blandes), el Instituto Español de Oceanografía (San Pedro del Pinatar), la Universidad de Alicante y la Universidad de Barcelona.

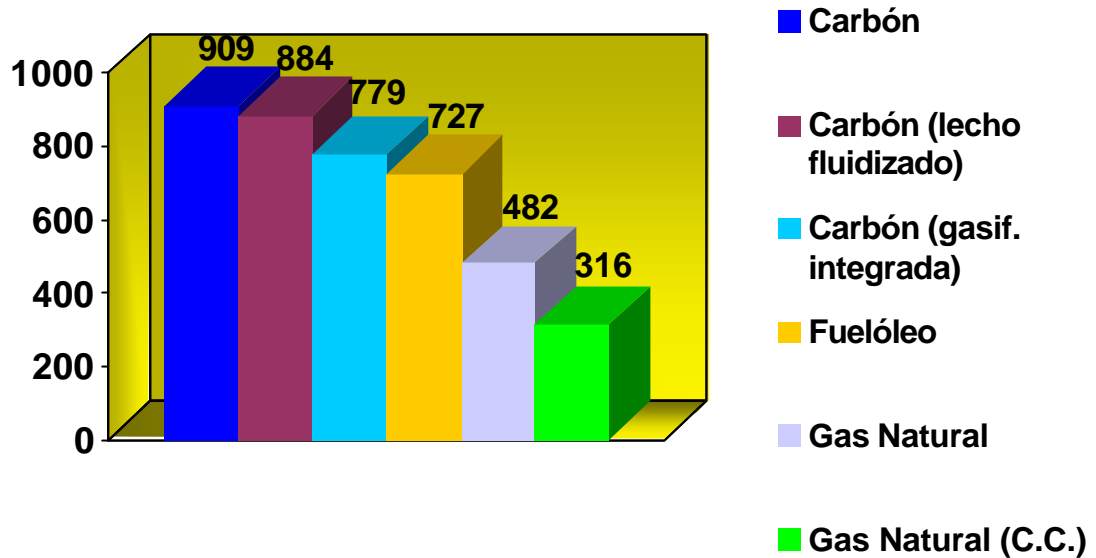
Los resultados de aquel estudio determinaron la escasa tolerancia de la Posidonia a los vertidos hipersalinos, así como la recomendación de ubicar las instalaciones de desalación en zonas de ausencia de la fanerógama o en su defecto asegurar una dilución previa mediante el empleo de difusores especiales.



3.3 Energía y Emisiones

Otro de los aspectos ampliamente divulgados por los detractores de la desalación es el elevado consumo energético de la misma. Aunque el consumo energético de la desalación ha disminuido en los últimos años en más de la mitad, es cierto que la desalación sigue dependiendo de la energía convencional, al igual que cualquier otra fuente productora de recurso.

Emisiones de CO2 en gr/kWh



Para desalar 1 m³ de agua de mar se consume el equivalente a un kilo de petróleo en energía eléctrica, 3,5 kv. La desaladora de Carboneras con una capacidad de 42 Hm³, consumiría el equivalente a 42.000Tn de petróleo.

Emisiones de CO₂

Generación	.gr CO2/kWh	.gr CO2/ m3
Carbón	909	3181
Fuel	727	2544
Ciclo Combinado (GN)	316	1106

Consumo generación agua desalada: 3.5 kWh/m3

Emisión Automóvil

230 gr/km

4.8 km/m3

4.- Conclusiones

Como resumen de la presente comunicación podemos señalar las enormes perspectivas que la desalación tiene como consecuencia del incremento de demanda de agua en los próximos años y la disminución de los costes asociados, que en la actualidad se sitúan por debajo de los 0.5 €/m³ incluyendo la amortización de las instalaciones a 25 años. Es necesario diferenciar costes de precios cuando de agua hablamos, ya que en la mayor parte de los casos ni sabemos lo que cuesta el agua que consumimos.

Por otro lado la aparición de falsos mitos respecto a los impactos de la desalación a nivel de vertidos, emisiones de CO₂ y consumo energético han confundido a la opinión pública respecto a la realidad de esta tecnología, atribuyéndole efectos no siempre reales. La calidad del agua desalada permite su aprovechamiento en cualquier tipo de uso, tanto agrícola como industrial o abastecimiento, por lo que cuestionar su calidad no sólo falsea la realidad sino que contribuye a demonizar una tecnología presente, que resolverá muchos de los retos hidráulicos planteados a medio plazo.

Identification of the mixing processes in brine discharges carried out in Barranco del Toro Beach, south of Gran Canaria (Canary Islands)

José L. Pérez Talavera, José J. Quesada Ruiz*

*Ionics Ibérica S.A.-S.U., Edificio Mercurio, Torre 2, 5^b, 35100 Maspalomas, Gran Canaria–Spain
Tel. +34 (902) 466-427, e-mail: jtalavera@ionics.es, jquesada@ionics.es*

Received 22 February 2001; accepted 8 March 2001

Abstract

The main environmental problem of the industries dedicated to the desalination of seawater is the brine discharge coming from the processes of desalination of seawater by means of reverse osmosis. Ionics Ibérica S. A. develops its industrial activity around the desalination of sea and brackish water to obtain potable water and the brine effluents produced by this activity are discharged into the sea. The necessity to carry out these discharges in a way that respects the environment led to in the month of August 2.000 that the Department of Quality, Industrial Security and Environment of Ionics Ibérica, S.A., designed a campaign with the objective of determining what are the effects of the brine discharge in the marine environment. That is to say: pursuit of the brine volume once it is discharged into the coastal environment; quantification of the mixing processes of these brine discharges; identification of the effects produced by the discharge on the fauna and flora of the area, with special attention to the presence of seagrass prairies on the sandy seabeds, “cebadales” (generally associations of two species: *Cymodocea nodosa* and *Caulerpa prolifera*) of great biological importance on the sandy seabeds of the coasts of the Canary Islands.

Keywords: Discharge; Outfall; Brine water; Mixing processes; Diffusion; *Cymodocea nodosa*; *Caulerpa prolifera*; “Cebadales”

*Corresponding author.

Presented at the European Conference on Desalination and the Environment: Water Shortage, Lemesos, Cyprus, 28–31 May 2001.

1. Geographical situation of the discharge area

The sea water desalination plant Maspalomas II is located in the south of the island of Gran Canaria (Canary Islands), on the left side of the Barranco del Toro ravine, next to its outlet. Playa del Toro beach is located in the outlet of the Barranco del Toro ravine, between Las Burras and Los Cochinos beaches as shown in Fig. 1.

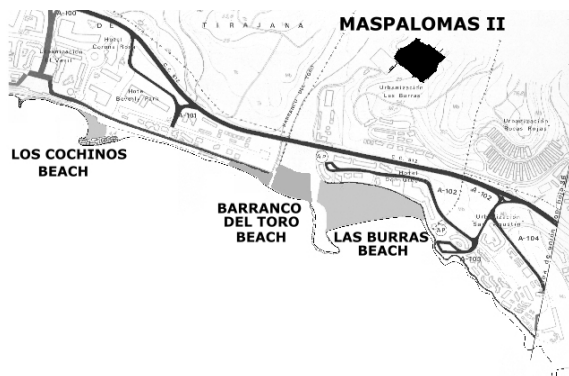


Fig. 1. Position of the Desalination Plant Maspalomas II.

The brine discharge of this desalination plant is carried out by means of two outfalls. The characteristics of these two outfalls are shown in Table 1.

Table 1
Characteristics of the brine discharge outfalls

	Outfall 1	Outfall 2
Length, m	290	300
Diameter, mm	300	600
Depth of discharge, m	7.3	7.5

Fig. 2 shows the location of the three groups of pipes present in the study area.

The first group, in the Las Burras Beach, is the feedwater intake of the Desalination Plant.

The second group is the brine outfalls. The last group is the outfalls of urban wastewater treatment plant located in the back of Desalination Plant.

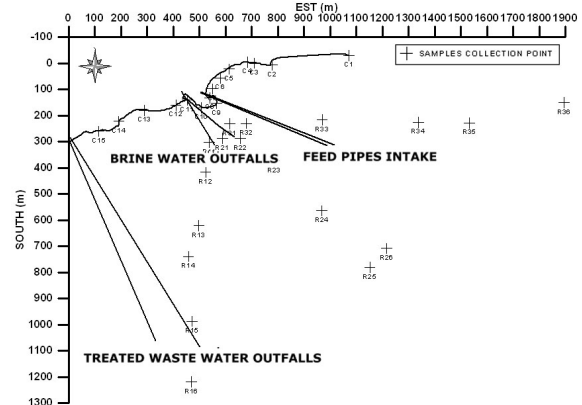


Fig. 2. Localization of brine discharge outfalls, seawater intake and discharge outfalls of treated wastewater of urban origin. Also included the position of the points where the sampling was carried out. Points RXX correspond to open sea, points CXX correspond to samples taken in the coast.

2. Bathymetry of the discharge area

In Fig. 3, the bathymetry of the discharge area is represented, obtained from the data of depth of the sampling. We can observe how the discharge outfalls are guided in the direction in which the depth increases in greater proportion as we move away from the coastline. This situation will favor the breakup of the brine mass from the bottom of the sea toward the area of greater depth.

3. Characteristics of the brine discharge

The volume of seawater captured for desalination is 42,000 m³/d, the production of potable water being 25,000 m³/d.

The brine discharge which comes from the desalination plant Maspalomas II takes place via

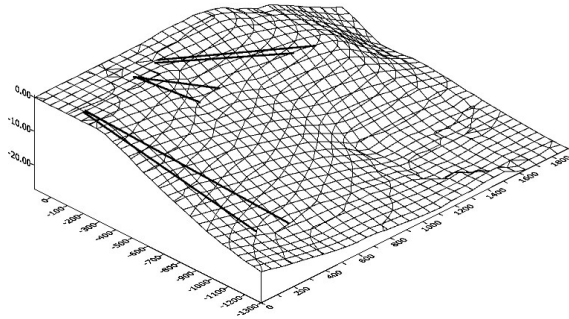


Fig. 3. Bathymetry of the discharge area.

the two outfalls of Barranco del Toro beach with a volume of 17,000 m³/d. The brine composition in a concentrated image of the seawater with a temperature 2°C higher. It is interesting to highlight the high concentration of nitrates in the feeding water, 5.3 mg/l that logically increases in the brine like the rest of the components of the seawater. This high concentration indicates the entrance in the intake-discharge area of nitrates of anthropic origin, as we will see later on, because of the presence of the treated wastewaters of urban origin (TDS ≈ 1,500 mg/l).

The brine produced in the Maspalomas II Desalting Plant shows a higher salt concentration (TDS ≈ 90,000 mg/l) than in a conventional plant (TDS ≈ 60,000 mg/l), due to the presence of a second stage at 90 bar pressure, raising the recovery to 60%.

4. Samples collection

In Fig. 2, the position from where the samples were collected is indicated. All the water samples were taken in duplicate and the final value of the measured parameter was made taking the average of both values.

- Samples collection along the coastline: The sample points were chosen taking into consideration the ecological values and the bathing areas. (Samples shown are coded as CX.)

- Samples collection in open sea: this was carried out according to three radials starting from the discharge area with separation of about 45°. Twelve samples were taken in six different points, six in the surface and another six in the seabed. (Samples shown are coded as RXX.)
- Samples collection in the vicinities of the brine discharge: a sampling was made in front of the outlet of one of the discharge outfalls with the purpose of determining the initial dilution of the brine, they are the samples denominated discharge fon., discharge int., and discharge sup. (bottom, intermediate and surface).

5. Oceanographic characteristics in the study area

The sampling was carried out in the morning of the 8th of August 2000, when the sea conditions and weather were very favorable for this objective: absence of wind and very weak surf, as well as not very strong tides in the day.

We knew that these conditions of absolute calm would influence a lot on the dilution process of the brine discharge, for that reason the dilution would be much less than in normal conditions of more surf and wind. But on the other hand these conditions would allow us to obtain a much more precise identification of the behavior of the brine mass in the surroundings under the most unfavorable conditions for the dilution process.

6. Process of the physical data and representation

The salinity is defined by the Scale of Practical Salinity of 1978 (PSS-78) which is based on the conductivity of a sample of water. The Scale of Practical Salinity of 1978 (UNESCO, 1981) defines the salinity in terms of the proportion of the conductivity of a sample with that of a

solution of 32.4356 g from KCl to 15°C in a solution of 1 kg. A sample of seawater at 15°C with a conductivity similar to this solution of KCl presents a salinity of exactly 35 practical salinity units (psu). In practice, the salinity is determined starting from empiric relationships (UNESCO 1983) among the temperature and the proportion of conductivity of a sample of Normalized Sea Water given by the International Association of the Physical Sciences of the Ocean (IAPSO). The comparison of the results with other laboratories demands that all the investigators use the normalized seawater IAPSO for the calibration.

The measures of salinity of discreet samples of water allow us to determine the structure and spatiality of the salinity in the column of water. Salinity and temperature (or strictly, the potential temperature) are conservative properties of the seawater that have been used to study the

movement of different water masses in the ocean during a long time. The temperature in-situ and salinity are the result of the transport and the mixture of these masses of water. To understand the origin, transport and mix of the water in the ocean, it is essential that the salinity be measured with a high level of accuracy. (0.002 psu).

The temperature (T) and the Relationship of conductivity (Rt) will be obtained for each sample calculating the salinity (S) using the equations PSS-78. The results of salinity will be expressed in psu, according to the following equation:

$$S = 0.0080 - 0.1692 K^{1/2} + 25.3853 K \\ + 14.0941 K^{3/2} - 7.0261 K^2 + 2.7081 K^{5/2}; \\ K = C(S, T, p) / C(35.0/00, 15^\circ\text{C}, 0)$$

In Table 2 the data of salinity and turbidity in the discharge zone are shown.

Table 2
Result of the sampling in open sea, 8th August 2000

Sample	Position		Salinity, psu	Turbidity, NTU
	North	West		
Discharge fon.	27°45'48,00''	15°33'03,00''	38,44392	—
Discharge int.	27°45'48,00''	15°33'03,00''	37,54378	—
Discharge sup.	27°45'48,00''	15°33'03,00''	37,01367	—
R11-S	27°45'46,80''	15°33'03,60''	37,07542	0.44
R12-S	27°45'42,00''	15°33'04,20''	37,06886	0.37
R13-S	27°45'33,60''	15°33'05,40''	37,06226	0.45
R14-S	27°45'28,80''	15°33'07,20''	37,13763	0.45
R15-S	27°45'18,60''	15°33'06,60''	37,06886	0.52
R16-S	27°45'09,00''	15°33'06,60''	37,00036	0.6
R11-F	27°45'46,80''	15°33'03,60''	37,07542	0.46
R12-F	27°45'42,00''	15°33'04,20''	37,07542	0.29
R13-F	27°45'33,60''	15°33'05,40''	37,00036	0.3
R14-F	27°45'28,80''	15°33'07,20''	37,07542	0.32
R15-F	27°45'18,60''	15°33'06,60''	37,06886	0.35
R16-F	27°45'09,00''	15°33'06,60''	37,06886	0.37
R21-S	27°45'47,40''	15°33'01,32''	37,09498	0.35
R22-S	27°45'47,40''	15°32'58,20''	37,02027	0.3

Table 2, continued

Sample	Position		Salinity, psu	Turbidity, NTU
	North	West		
R23-S	27°45'43,80''	15°32'52,20''	37,09498	0.4
R24-S	27°45'36,00''	15°32'43,80''	37,09498	0.28
R25-S	27°45'27,00''	15°32'35,40''	37,09498	0.43
R26-S	27°45'30,00''	15°32'32,40''	37,09498	0.45
R21-F	27°45'47,40''	15°33'01,32''	37,16972	0.24
R22-F	27°45'47,40''	15°32'58,20''	37,16972	0.3
R23-F	27°45'43,80''	15°32'52,20''	37,09498	0.35
R24-F	27°45'36,00''	15°32'43,80''	37,09498	0.27
R25-F	27°45'27,00''	15°32'35,40''	37,09498	0.28
R26-F	27°45'30,00''	15°32'32,40''	37,16972	0.3
R31-S	27°45'49,80''	15°33'00,06''	37,11438	0.37
R32-S	27°45'49,80''	15°32'55,80''	37,11438	0.28
R33-S	27°45'50,40''	15°32'43,80''	37,11438	0.32
R34-S	27°45'49,80''	15°32'27,00''	37,11438	0.32
R35-S	27°45'49,80''	15°32'18,00''	37,18874	0.35
R36-S	27°45'52,80''	15°31'59,40''	37,26932	0.36
R31-F	27°45'49,80''	15°33'00,06''	37,28162	0.32
R32-F	27°45'49,80''	15°32'55,80''	37,27549	0.29
R33-F	27°45'50,40''	15°32'43,80''	37,26932	0.24
R34-F	27°45'49,80''	15°32'27,00''	37,19506	0.2
R35-F	27°45'49,80''	15°32'18,00''	37,25694	0.26
R36-F	27°45'52,80''	15°31'59,40''	37,10794	0.27
Feed seawater	27°45'47,00''	15°32'41,00''	37,27663	—
Brine waste	27°45'48,00''	15°33'03,00''	75.16163	—
C1	27°45'56,40''	15°33'04,20''	36.82788	0.5
C2	27°46'01,08''	15°32'52,74''	36.89065	0.45
C3	27°46'02,04''	15°32'57,24''	36.89767	0.6
C4	27°46'02,88''	15°32'59,16''	36.82074	0.6
C5	27°46'01,38''	15°33'00,6''	36.89767	0.5
C6	27°45'59,70''	15°33'02,4''	36.89767	0.5
C7	27°45'57,66''	15°33'03,78''	36.98835	0.5
C8	27°45'55,56''	15°33'04,26''	36.98148	0.5
C9	27°45'54,60''	15°33'02,88''	37.00198	0.6
C10	27°45'54,18''	15°33'05,82''	36.99518	0.5
C11	27°45'55,92''	15°33'08,16''	36.92556	0.5
C12	27°45'55,14''	15°33'11,16''	37.07843	0.6
C13	27°45'54,00''	15°33'17,04''	36.62003	0.5
C14	27°45'51,54''	15°33'22,14''	36.91166	0.5
C15	27°45'49,92''	15°33'25,68''	36.90466	0.5

6.1. Salinity

The samples taken in front of the brine discharge outfalls denominated discharge fon. (bottom), discharge int. (intermediate) and discharge sup. (surface) were taken 20m in front of the outfalls outlet (Table 3). As we see from the following data, the initial dilution of the brine in the first few meters is high and it continues practically in the whole column of water. It moves from a salinity of 75.16163 (salinity of the discharge) to a salinity of 38.44392 in the seabed and 37.01367 on the surface. If we move about a hundred meters away, the salinity of the seawater is very near the normal values for the seawater of the area, that in summer is around 37psu.

The theoretical studies indicate that the brine tends to situate itself at the bottom once it stops being affected by the effects of the discharge jet and it reaches its balance with the surrounding environment according to its density. But the collected data shows that due to the lack of depth and the dynamics of the receiving medium, the brine is diluted in the whole column of water.

Table 3
Salinity of the samples in front of the discharge point

Sample	Position		Salinity, psu
	North	West	
Discharge fon.	27°45'48,00''	15°33'03,00''	38,44392
Discharge int.	27°45'48,00''	15°33'03,00''	37,54378
Discharge sup.	27°45'48,00''	15°33'03,00''	37,01367
Brain waste	27°45'48,00''	15°33'03,00''	75.16163

In Fig. 4, we can see what is the evolution of the salinity in function of the distance traveled starting from the point of discharge, once the initial dilution of the discharge takes place. This initial dilution is very high, going from the value

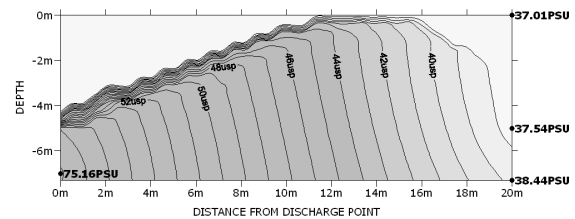


Fig. 4. Initial dilution at the point of discharge of the brine.

of 75 psu to 38.5 psu approximately in only 20m. In Fig. 4 we can observe how the dilution process takes place in the area near the discharge outlet.

The distribution of the salinity, once the initial dilution takes place, is shown in Figs. 5 and 6.

In Fig. 5, we can observe how the mass of water formed by the brine that is diluting is distributed practically from west to east. We also see in the southwest area of the Barranco del Toro beach, in front of the coast, the lowest values in salinity are found (below 37psu), values in accordance with the form of displacement of the brine in dilution and that could possibly be affected by the dilution of the discharge of treated waters from the outfalls at Los Cochinos I and II.

In Fig. 6, we see that the data obtained for the behavior of the brine in dilution is similar to that obtained for the seabed, with a west-east distribution and with the minimum values toward the southwest. We can observe how the dilution starts to reach the whole column of water and as the mass of the most concentrated water reaches the surface in the area where the water intake is situated for the Maspalomas II plant, values of 37.20 are reached which really are much nearer to the coast. We see how in the southwest area the values of salinity on the bottom and surface are within the same range of salinity, possibly because in this area there is a bigger dilution or because the marine dynamics prevent that the brine reaches this area. It is also logical to think that in this area it is possible that the entrance of fresh water appears from the outfalls of Playa del

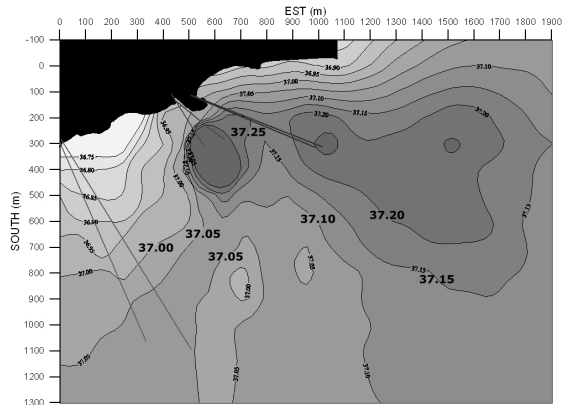


Fig. 5. Horizontal distribution of the salinity on the bottom of the sea.

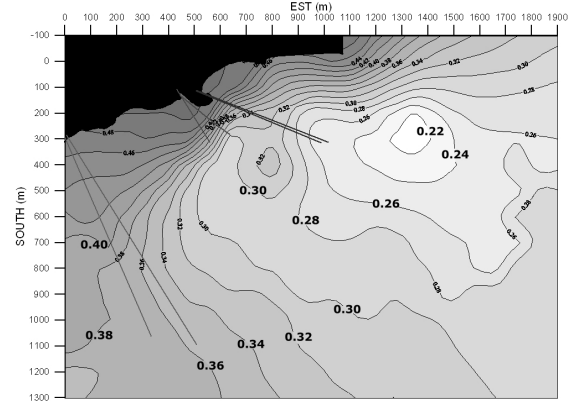


Fig. 7. Horizontal distribution of the turbidity (NTU) on the bottom of the sea.

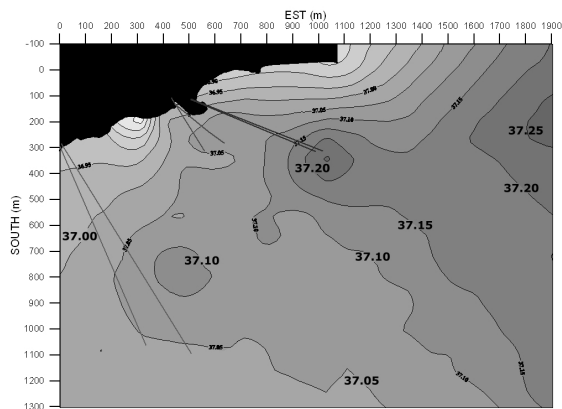


Fig. 6. Horizontal distribution of the salinity on the surface.

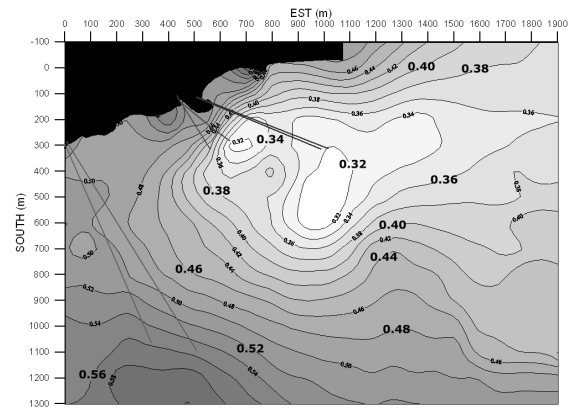


Fig. 8. Horizontal distribution of the turbidity (NTU) on the surface.

Cochino which would favor the dilution in this direction. As we will see later on in the turbidity distributions, this seems very reasonable.

6.2. Turbidity

In the Figs. 7 and 8 we represent the horizontal distribution of the turbidity for the bottom of the sea and surface.

In a normal situation it would be necessary to expect higher values of turbidity on the bottom than on the surface because on the bottom the

silts stay in suspension due to the marine dynamics. Also the values on the coast will be greater than in open waters for the same reason.

In this case, just the opposite happens. On the surface we find higher values than on the seabed in the southwest area. The lines of equal turbidity are also situated quite close together and parallel in southwest-northeast direction starting from this area, indicating a very high gradient of turbidity. This distribution form identifies the presence of a source of materials that stay in suspension on the surface. In definitive, the

presence of the fresh water outfalls at Los Cochinos Beach is clear.

The fresh water plumes of the outfalls at Los Cochinos Beach dilute on the surface. This discharge that takes place through two outfalls was identified clearly the day the samples were taken, and it was observed that there were two dark stains on the surface that indicated the vertical exit of the discharge, as well as a characteristic fecal scent.

7. Effects of the brine discharges on the flora and fauna

At the discharge point, as can be seen in picture 4 of Fig. 9, the brine discharge is carried out on the sandy seabed where there are no “cebadales” present, since the depth and the marine dynamics impede their development there. It is clearly observed that the brine enters the surroundings in a turbulent manner (which allows the breakup to be carried out in a quicker way), and the brine forms a fog due to the difference of density.

The radial 1 leaves the discharge area and goes toward the southeast, where it crosses the treated water outfalls of Los Cochinos I and II. In this area (Samples R15 and R16) on the surface one can clearly see the discharge of the treated water. The sandy seabed is characterized by a large amount of slime and silt and practically no flora.

Picture 21 shows the condition of those “cebadales” (sampling point R12) covered with slime. As one comes nearer to the coast these “cebadales” disappear. We can observe as the “cebadales” diminish as we come nearer the outlets of Cochino I and II. In this radial we find “cebadales” at a depth of 9–11.5 m.

The radial 2 comes out from the discharge area and goes in an easterly direction out toward open sea. In the sampling points nearest to the coast (sampling points R21, R22) we find sandy

seabeds with no algae present. In the sampling point R23, at a depth of 10m we found “cebadales” on the sandy sea bottom that were very healthy and in which a great amount of life has developed, with the presence of young fish of different species, picture 10 of Fig. 9 (Nursery area). As the sea bottom becomes deeper the “cebadal” less. (R24). In the points R25 and R26 the “cebadales” disappear and the sandy seabed is seen to be absent of algae of any type. As we see, the condition of the “cebadal” is much better than in the opposing ones in the radial 1. In this radial we find “cebadales” at a depth of 10m.

The radial 3 goes from the discharge area toward the northeast. It was in this direction where we found the biggest patches of “cebadales” for their extension and density. In the first sampling point (R31) we meet with sandy seabeds and the presence of algae is not observed. These “cebadales” start to appear from a depth of 6m, as it is a much more protected zone, and they extend to 13m along the sampling points R32, R33, R34 and R35. As we see in pictures 38 and 39 of Fig. 9 corresponding to these points, these “cebadales” are in very good health and they are the refuge of a great quantity of young and small size fish.

In general we can deduce that the distribution of “cebadales” is determined by the depth, marine dynamics and the proximity to the outfalls of Cochino I and II, in such a way that areas next to these outfalls and the shallower parts where the marine dynamics are greater, the seabeds are practically lacking “cebadales” and the existent ones are not in very good condition. This is explained by the treated water discharge, the flooding from the Barranco del Toro and the action of the last storm.

On the contrary, in front of Playa de las Burras in a northeast direction, a more protected area and further from the treated water discharge, the “cebadales” are in a very good state of conservation. It was in this area that we found a mass of water slightly more saline than seawater,

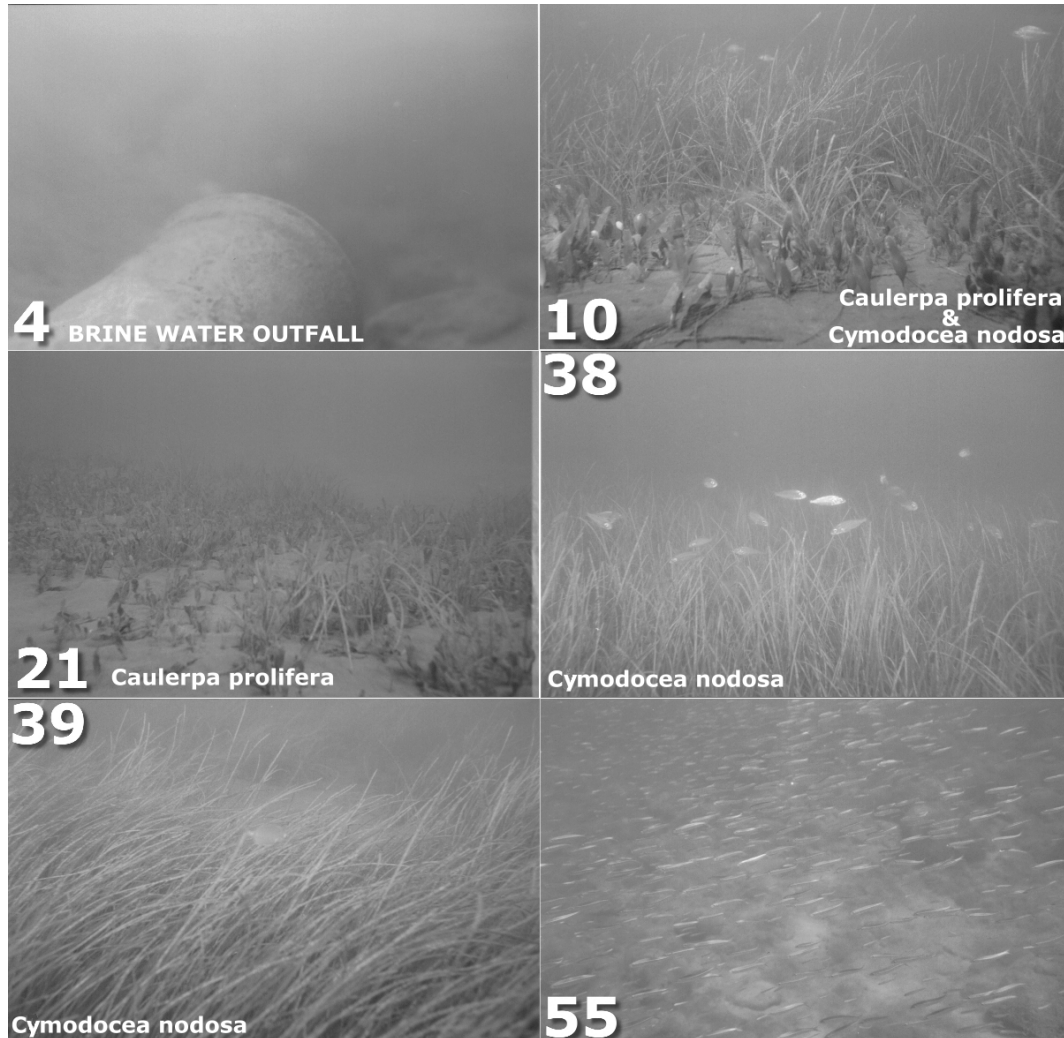


Fig. 9. Pictures of the seabeds.

so we can be assured that the “cebadales” are not being affected by the brine discharge.

The seabeds nearest to the coast show a good state of conservation (picture 55 of Fig. 9).

8. Conclusions

The study of the brine discharge produced by the desalination plant Maspalomas II has been carried out on the basis of taking of samples

according to three radials starting from the discharge area with the purpose of determining the dilution of the brine in distant areas, and on the other hand samples were taken in front of one of the outlets of the discharge to determine the dilution of the brine in areas nearby. Once represented, the values of salinity of the samples, the following conclusions have been reached:

The dilution in nearby areas is high, taking place a dilution of the brine discharge from 75psu to 38psu at some 20m away from the

discharge outfalls outlet.

The dilution in more distant areas takes place in such a way that the salinity in a radius of a mile stays practically in the normal values for seawater.

The evolution of the mass of brine water in breakup, due to the dynamics of the discharge area, means the dilution takes place in a northeast direction, starting from the discharge area. This is mainly due to the bathymetry of the area and the presence of two outfalls of treated water that are to the southeast of the brine discharge area.

The day the samples were taken was characterized by the extreme calm of the sea, such as tides, wind and surf, which allowed a correct sampling and the correct determination of the position, but it is very reasonable to think that the dilution of the brine was much less than the one that would take place in normal conditions of more wind and surf. In a discharge like the one that we are studying that takes place in depths of around 8 m, the marine dynamics are very important for its dilution, that is why we believe that the dilution has been underestimated.

The study of the distribution of the reflective turbidity clearly reflects the entrance of fresh water (less dense than the seawater) in the discharge. The dilution of this mass of water takes place on the surface and it starts to interact with the brine mass producing lower values of salinity in the area southwest of the brine discharge mixture. This interaction totally agrees with the high nitrogen values that were reflected in the analytics of the feed water, which we had supposed were of an origin of treated wastewaters discharged in the area.

The values of salinity and pH of the samples taken in the bathing areas adjacent to the discharge are in the ranges settled down by legislation and normal for seawater.

The values of salinity in the whole study area are very near what we could consider as the normal range of salinity for the seawater of the

coasts of Gran Canaria. Therefore the current effects on the marine biological communities are nonexistent.

We believe that the oceanographic conditions at the time of taking the samples allows us a very high margin of trust due mainly to the fact that we have taken dilution values below the real ones and inappropriate of the normal situation of the marine dynamics of the area. This way we are contemplating the most unfavorable case (from the point of view of the marine dynamics) that could take place in the future and in which the salinity of the area would be higher. We can be assured that the dilution of the brine in the future under normal conditions and of extreme calm would be sufficiently enough so as not to negatively affect the marine life and the quality of the bathing waters of the area.

The flora and fauna of this area is seen to be affected by the discharge of treated wastewater as demonstrated in the underwater pictures. Paradoxically the patches of “cebadales” that we have found in perfect condition and in more extension were in the northeast area, where salinity values have been shown to be a little higher. (Although not at all dangerous. The range of salinity that these types of communities can endure is considerably wider as studies of the distribution of marine grasses in the Mar Menor, done by the Department of Ecology and Environment of the University of Murcia have shown.)

In the area south of the discharge, due to the storms, the flooding from the Barranco del Toro and the treated wastewater discharge, the state of conservation of the seabeds is less, with reduced patches of “cebadales” which are less dense.

In the sandy seabeds where there are prairies of *C. nodosa* and *C. prolifera* present, we find a vast quantity of young fish of different species and life is abundant. In general, in the rocky seabeds near the reef line the state of conservation is good.

Development of Pump Turbine for Seawater Pumped-Storage Power Plant

Tetsuo Fujihara
Haruo Imano
Katsuhiko Oshima

ABSTRACT: Acquiring a pumped-storage power generation site utilizing river water recently faces several restrictions due to environmental assessment. On the other hand, there are many sites favorable for constructing a pumped-storage power plant utilizing seawater in Japan, which is surrounded by the sea. Seawater pumped-storage power plants have several advantages such as lower civil construction cost and lower power distribution cost due to their proximity to nuclear or steam turbine power plants. Seawater pump turbines are used under the condition where the corrosion environment is noticeably severe, rather than conventional river water pump turbines. In addition, pump turbines have many narrow spaces between parts and their major parts are embedded, so that it would be very difficult to apply proper corrosion prevention measures. This problem cannot be solved only by conventional corrosion-preventive engineering. The Agency of Natural Resources and Energy of the Ministry of International Trade and Industry entrusted Electric Power Development Co., Ltd. with the construction of the world's first seawater pumped-storage pilot plant in Kunigami Village in Okinawa Prefecture, Japan, to execute verification tests for five years after the completion of construction in March, 1999. This paper will deal with materials, structure, and corrosion-preventive engineering of the pump turbine for the seawater pumped-storage power plant.

INTRODUCTION

FOR the seawater pumped-storage power plant, the Agency of Natural Resources and Energy of the Ministry of International Trade and Industry entrusted Electric Power Development Co., Ltd. with the survey and development program "Verification tests and Investigation for seawater pumped-storage techniques," and starting in 1981 the research work was carried out for making the seawater pumped-storage practical.

In addition, the systematic verification test was conducted since 1984, to investigate the corrosion characteristics of metallic materials, effect of corrosion-preventive paint, cathodic protection, adhesion characteristic of marine organisms, and other problems under the simulated running conditions of the actual machine. The verification test was executed by using three model pump turbines which are made of the same materials as those of the actual machine and are geometrically similar, in the middle district of Okinawa Island.¹⁾

We have recently designed and manufactured a pump turbine for the pilot plant based on the results of the above-mentioned test. Fig. 1 shows a bird's eye view of the pilot plant, whose plan and sectional view

are shown in Figs. 2 and 3, respectively. This paper will present an outline of applied materials, paint, corrosion preventive method, and countermeasures for preventing the adhesion of marine organisms.

STRUCTURAL FEATURES OF PUMPTURBINE

Table 1 shows the specifications of the pump turbine for seawater pumped-storage, and Fig. 4 shows the sectional view of the pump turbine and appearance of the pump turbine shop assembly.

The pump turbine for seawater pumped-storage is constructed so that the runner can be taken out from below for easy disassembly and reassembly. The water passage surface is simplified to guard against crevice corrosion as much as possible. The corrosion preventive structure of individual parts is described below.

Main shaft sealing box

Ceramics has been applied to the sealing element. Water drain pipes are provided up to the drain pit to prevent water leakage on the head cover.

Wicket gate stem bearing assembly

The wicket gate stem packing was doubled to prevent seawater from entering into the bearing housing even if seawater should leak from the upstream



Fig. 1—Bird's-Eye View of Pilot Seawater Pumped-storage Power Plant, Okinawa Pref. in Japan. The octagonal shape shows the upper dam. The sea is the lower reservoir. The outlet of the tailrace is surrounded by tetrapods for protection from waves.

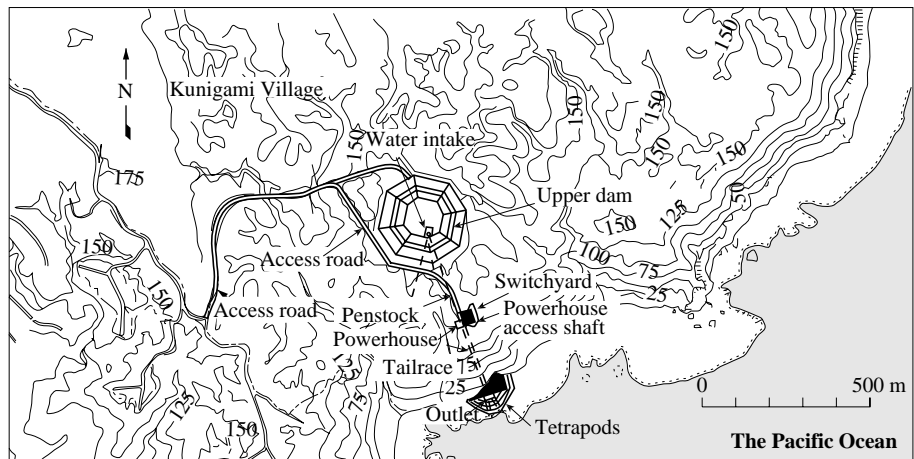


Fig. 2—Plan View of Seawater Pumped-storage Power Plant. The octagon-shaped upper dam is located 500 m away from seashore at the elevation of 150 m.

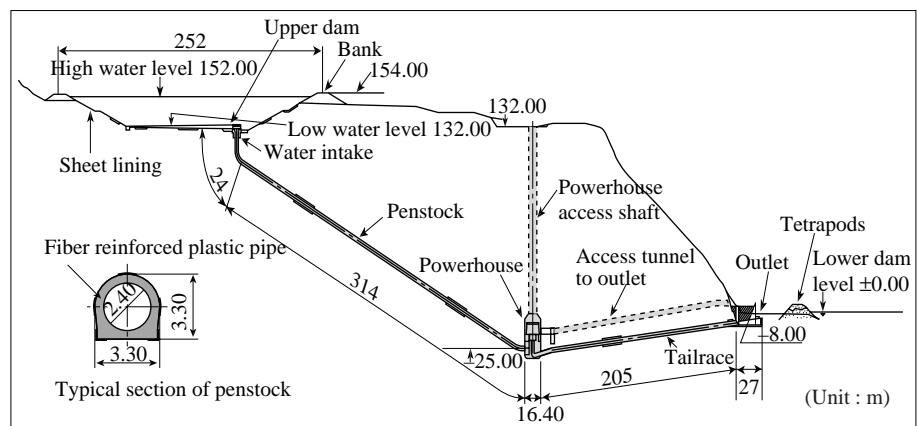


Fig. 3—Sectional View of Waterways. The underground powerhouse is situated 150 m below ground level.

side packing. The wicket gate stem bearing can be replaced without disassembling the head cover and the discharge ring.

Wicket gate seal packing

The wicket gates are generally furnished with seal packings at the top and bottom faces to guard against leakage water from the spiral case to the runner

chamber. The seal packing is usually held by a separate packing gland. The rubber packing of the seawater pump turbine is, however, jointed to a stainless steel base by rubber moulding process as shown in Fig. 4 to reduce crevices. In addition, upper and lower facing plates are integrated into the head cover and the discharge ring to decrease crevice corrosion caused

TABLE 1. Specification of the Pump Turbine for Seawater Pumped-Storage

Turbine operation		Pump operation	
Max. output	31,400 kW	Max. input	31,800 kW
Max. net head	141 m	Dynamic head	160 m
Max. discharge	26 m ³ /s	Discharge	20.2 m ³ /s
Specific speed	178.2 m-kW	Specific speed	51.4 m-m ³ /s
Rotating speed		450±6% r/min	

by the space between the two components, whereas they are tightened by a lot of bolts in the case of conventional pump turbines.

Main shaft and runner

The connection joint between the main shaft and runner is completely sealed by rubber gaskets so as to isolate seawater from the coupling bolts.

MATERIALS AND CORROSION PREVENTIVE METHOD

The materials and corrosion preventive method for parts of the pump turbine were selected by taking both the corrosion resistance of material and the economical evaluation into account. Mild carbon steel which is coated with paint is used for comparatively low-flow-velocity portions, while stainless steel is used for high-flow-velocity portions. In order to prevent corrosion due to paint damage and against crevice corrosion, cathodic protection is used. Since corrosion is accelerated as the flow velocity becomes higher, the

cathodic protection is designed to be carried out by an external power source system in order to make the corrosion preventive current adjustable.

Spiral case and stay ring

These components are made of rolled steel for welded structures (JIS-SM400A) and water passage surfaces are coated with vinyl-ester-type, extremely thick film paint with glass flakes.

Head cover and discharge ring

Water passage surfaces are made of austenitic stainless steel (JIS-SUS316L) with a low carbon content. Surfaces that do not become wet are made of rolled steel for welded structures (JIS-SM400A) to maintain low costs.

Wicket gate, runner and main shaft

The wicket gate and runner are made of austenitic stainless steel casting (JIS-SCS16A or equivalent) with a low carbon content plus nitrogen which is added to improve the corrosion resistance. The main shaft is provided with a slip ring to provide the corrosion

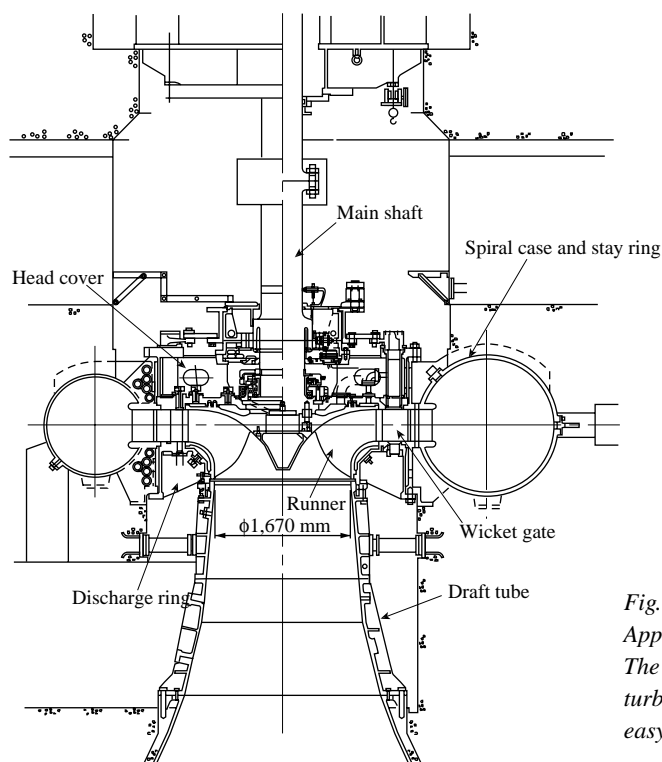


Fig. 4—Sectional View of Pump Turbine and Appearance of Pump Turbine During Shop Assembly. The runner can be taken out from below, leaving pump turbine main parts and generator motor as they are, for easy maintenance work.

preventive current for cathodic protection. The main shaft is made of stainless steel forging for the pressure vessel (JIS-SUSF316N) containing nitrogen in austenitic group.

Draft tube

The upper part of the upper draft tube liner is made of austenitic stainless steel with a low carbon content (JIS-SUS316L), while the other parts are made of rolled steel for general structures (JIS-SS400) and coated with vinyl-ester-type, extremely thick film paint with glass flakes.

Main shaft sealing box

The seal is made of ceramics. Other parts are made of austenitic stainless steel with a low carbon content (JIS-SUS316L). Since the space between the main shaft and the sealing box is narrow, the sacrifice electrode system is adopted as a corrosion preventive measure.

PREVENTION OF THE ADHESION OF MARINE ORGANISMS

The barnacle is a typical example of marine organisms adhering to the pump turbine, pipings, valves, and auxiliary equipment. Barnacles adhere to substances when the flow velocity is less than approximately 5 m/s, and they adhere most easily when the flow velocity is 1 or 2 m/s. Since the adhesion of barnacles reduces the efficiency of pump turbines and causes clogging of piping and other failures, this problem must be carefully considered with relation to the components where the flow is apt to be stagnant, for example the draft tube, the spiral case, pipings, etc. Barnacles secrete a viscid substance from their body when adhering to the surface of an object. It is generally known that it is difficult for this substance to be fixed to surfaces which repel water. Accordingly, the portion in pump turbine components where the flow is apt to be stagnant should be coated with anti-pollution type dirt-prevention paint which can repel water.

CONCLUSIONS

This paper dealt with the structural features of the pump turbine for seawater pumped-storage, corrosion preventive measures, and measures for preventing the adhesion of marine organisms. When anti-corrosion engineering for seawater pump turbines is established, the limitations on location of pumped-storage power plants are remarkably relaxed, and an increase in the demand for pumped-storage power plants expected.

In closing the paper, authors extend their hearty

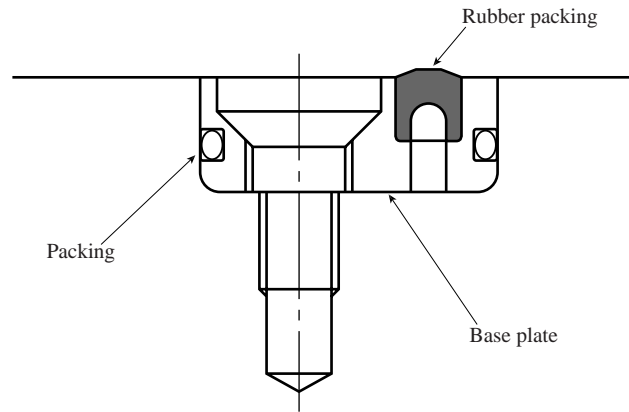


Fig. 5—Structure of Wicket Gate Seal Packing.
To prevent crevice corrosion, the rubber packing and the base plate are jointed together by rubber moulding process.

thanks to the parties concerned in Electric Power Development Co., Ltd. for their guidance in developing the pump turbine for the seawater pumped-storage power plant.

REFERENCE

- (1) F. Osawa et al., "Research and Development of Reversible Pump-Turbine for Sea Water Pumped Storage (Part 1 Evaluation of corrosion resistance of material in sea water)," JSME-ASME International Conference on Power Engineering-93 (1993)

ABOUT THE AUTHORS



Tetsuo Fujihara

Joined Hitachi, Ltd. in 1970. Belongs to the Turbine Design Section at Hitachi Works. Currently working to design turbine plants.

E-mail: fujihara@cm.hitachi.hitachi.co.jp



Haruo Imano

Joined Hitachi, Ltd. in 1959. Belongs to the Hydraulic Machine Design Section at Hitachi Works. Currently working to design water turbines.



Katsuhiro Oshima

Joined Hitachi, Ltd. in 1979. Belongs to the Hydraulic Machine Design Section at Hitachi Works. Currently working to design water turbines. Member of the Japan Society of Mechanical Engineers.

E-mail: k_ooshima@cm.hitachi.hitachi.co.jp

LA DESALACIÓN COMO ALTERNATIVA AL PHN

A REQUERIMIENTO DEL



Presidencia

REALIZADO POR:



CIRCE



Universidad de Zaragoza

ENERO DE 2001

AUTORES:

Antonio VALERO, Director de CIRCE.
Javier UCHE, Dr. Ingeniero Industrial, CIRCE.
Luis SERRA, Dr. Ingeniero Industrial, CIRCE.

CONTACTO:

CIRCE – Centro de Investigación de Recursos y Consumos Energéticos.
UNIVERSIDAD DE ZARAGOZA. Centro Politécnico Superior.
C/ María de Luna 3, 50.015 ZARAGOZA.
Tel.: +976 76 18 63 Fax: +976 73 20 78
E-mail: circe@posta.unizar.es, URL: <http://circe.cps.unizar.es>

SÍNTESIS

Este informe técnico realizado por CIRCE bajo requerimiento del Departamento de Presidencia y Relaciones Institucionales de la Diputación General de Aragón realiza un análisis previo de la viabilidad de los procesos de desalación, no suficientes contemplados en el Plan Hidrológico Nacional próximo a su ejecución, como alternativa a la transferencia de caudales de la Cuenca Hidrográfica del Ebro al Levante y Sureste Español y las Cuencas Internas de Cataluña.

El informe realiza una exposición gradual de todos los aspectos más importantes que involucran la tecnología y la industria de la desalación y reutilización de aguas residuales. Las conclusiones más relevantes de este informe se sintetizan en los siguientes puntos:

- ?? La utilización de técnicas de obtención de recursos hídricos no renovables como la desalación debe contemplarse tras apurar todas las formas de ahorro posible en todos los sectores consumidores de agua.
- ?? El coste energético mínimo para desalar agua de mar se estima en torno a las 7 ptas/m³. En la práctica, dicho coste de operación es sensiblemente mayor para todas tecnologías desaladoras.
- ?? Tras un exhaustivo análisis de todas las tecnologías de desalación existentes en el mercado, en España la tecnología más favorable es la de Ósmosis Inversa (OI), en base a su menor coste, fiabilidad y posibilidad de ampliación.
- ?? La calidad del agua obtenida por los métodos de desalación es apta para cualquier tipo de consumo humano: abastecimiento, riego agrícola. Tan sólo algunos procesos industriales muy específicos necesitan tratamientos especiales.
- ?? La desalación es en algunos países la única fuente de recursos hídricos, con gran cantidad de plantas desaladoras con un funcionamiento plenamente satisfactorio. España es el país europeo tecnológicamente más avanzado en tecnología y capacidad instalada por el método de ósmosis inversa. Esta tecnología debe mantener este nivel de desarrollo para contribuir a un abaratamiento progresivo del agua desalada en nuestro país.
- ?? El funcionamiento satisfactorio de las plantas desaladoras existentes en España (en Canarias ya consumen alrededor de un millón de personas con agua desalada, con casi 300 plantas desaladoras instaladas) no debe ser una traba a su instalación en otras zonas del Levante.
- ?? No debe negarse el impacto ambiental asociado a las plantas desaladoras: los más importantes son el vertido de salmueras y la generación de CO₂ y NO_x provocada por el consumo energético. Sin embargo, una adecuada legislación (gradual a la implantación de estas plantas) puede minimizar estos impactos (de naturaleza dinámica), en contraposición al impacto ambiental, de naturaleza permanente, derivado de una gran obra hidráulica.
- ?? En cuanto a los costes totales de los procesos de desalación, para instalaciones de tamaño considerable en los que la economía de escala juega un papel fundamental, son éstos:

- 60-65 ptas/m³ para agua desalada de mar.
- 30-35 ptas/m³ para aguas salobres desaladas.

- ?? La reutilización de aguas previamente depuradas en una depuradora de aguas residuales puede aplicarse para el riego de parques, jardines y cultivos, a un coste variable de 30-45 ptas/m³.
- ?? Debe pensarse en una gestión integral de los recursos de naturaleza no renovable (desalación y reutilización) que permita un coste menor a la desalación pura. Puede obtenerse un coste medio del agua para abastecimiento de 50 ptas/m³, aprovechando también infraestructuras comunes a ambos procesos.

Las reflexiones generales extraídas del informe son las siguientes:

- ?? El coste de la desalación es en estos momentos mucho menor que el propugnado en el Plan Hidrológico Nacional (PHN), que lo estipula en 135 ptas/m³ de media. En este informe se ha visto que la integración de métodos de desalación de agua de mar y salobre y reutilización de aguas residuales puede obtenerse a un precio cercano a las 50 ptas/m³.
- ?? La tendencia observada de la disminución de precipitaciones como consecuencia del efecto invernadero, va a obligar en un futuro no muy lejano a la construcción de plantas desaladoras, aunque se ejecuten las grandes obras hidráulicas para trasvases de las cuencas hidrográficas 'excedentarias'.
- ?? Por lo tanto, la rentabilidad anunciada a la realización de un trasvase, teniendo en cuenta los dos argumentos anteriores, va a ser mucho menor de la esperada. La facilidad de ampliación de las plantas desaladoras y su menor propensión al incremento del coste final de su construcción son otros factores desfavorables de una obra hidráulica con respecto a la desalación. Si además se añade el beneficio obtenido en la cuenca cedente gracias al uso del agua no transferida a la cuenca deficitaria, dicha rentabilidad económica queda claramente en entredicho.
- ?? Para el abastecimiento urbano propuesto en el Plan Hidrológico Nacional (440 hm³), la instalación de 8-12 plantas del tamaño de la planta desaladora en construcción de Carboneras (Almería), convenientemente situadas (y combinadas si se desea con plantas de reutilización de aguas residuales urbanas) es suficiente para cubrir dicha demanda.
- ?? La rentabilidad de la desalación de aguas para la agricultura queda supeditada al tipo de cultivo. En España puede ser perfectamente viable para cultivos intensivos, pero debe señalarse que es el único país donde se riega en una cuantía significativa con aguas desaladas.

NOTAS PARA LA COMPRENSIÓN DE ESTE INFORME

El texto tiene referencias continuas a abreviaturas o siglas para sintetizarlo al máximo. Se recomienda consultar el apartado de abreviaturas en caso de duda sobre alguna de ellas.

Las referencias a la documentación están puestas de forma explícita en el texto pero también aparecen incluidas en el apartado de documentación.

Para una lectura más rápida y comprensiva, el informe está realizado en color, tanto las gráficas como parte del texto. Los colores del texto diferentes del habitual tienen este significado:

- ?? **Color rojo:** Comentario que es importante resaltar. También suelen ser conclusiones con respecto a un tema en particular.
- ?? **Color gris:** Muestra un ejemplo del tema especificado en ese apartado.
- ?? **Color verde:** Es la definición de un término o un parámetro característico en desalación.

ÍNDICE

1. OBJETO	9
2. GENERALIDADES	10
2.1. Consumo hídrico	10
2.2. Recursos hídricos	11
2.3. Conclusiones	14
3. CONCEPTO DE DESALACIÓN	15
4. PROCESOS DE DESALACIÓN	17
4.1. Destilación súbita por efecto flash (MSF)	17
4.2. Destilación por múltiple efecto (MED)	19
4.3. Compresión térmica de vapor	20
4.4. Destilación solar	21
4.5. Congelación	22
4.6. Formación de hidratos	22
4.7. Destilación por membranas	22
4.8. Compresión mecánica de vapor	23
4.9. Ósmosis inversa	24
4.10. Electrodialisis	26
4.11. Intercambio iónico	27
4.12. Resumen	28
5. CALIDAD DE LAS AGUAS	29
5.1. Condiciones del agua bruta aportada	29
5.2. Calidad requerida al agua	30
5.3. Calidad obtenida con la desalación	31
5.4. Conclusiones finales	32
6. BREVE HISTORIA DE LA DESALACIÓN	33
6.1. Perspectiva mundial	33
6.2. Historia de la desalación en España	34
7. SITUACIÓN ACTUAL DE LA DESALACIÓN	37
7.1. Oriente Medio y Norte de África	38
7.2. América	39
7.3. Asia y Oceanía	40
7.4. Europa	41
7.5. Nuevas instalaciones	41
7.6. La desalación en España	43
7.7. Resumen	48
8. CONSIDERACIONES MEDIOAMBIENTALES	49
8.1. Evaluación del impacto ambiental de instalaciones desaladoras	49
8.2. Problemática medioambiental de los vertidos de salmuera	49
8.2.1. Aguas salobres	50
8.2.2. Aguas marinas	51
8.3. Otros vertidos	51
8.4. Otros impactos y consideraciones finales	52

9. COSTES DE LA DESALACIÓN	53
9.1. Consideraciones generales	53
9.2. Costes de desalación de agua de mar	54
9.2.1. Destilación en plantas duales	54
9.2.1.1. Coste del combustible	54
9.2.1.2. Consumo eléctrico	56
9.2.1.3. Inversión necesaria y amortización	57
9.2.1.4. Otros costes	58
9.2.1.5. Coste total y conclusiones	58
9.2.2. Destilación en cogeneración con venta de electricidad	59
9.2.3. Desalación de agua de mar por ósmosis inversa	63
9.2.3.1. Coste de la energía eléctrica	63
9.2.3.2. Coste de la inversión	64
9.2.3.3. Coste de personal y mantenimiento	65
9.2.3.4. Coste de aditivos químicos	65
9.2.3.5. Coste de reposición de membranas y arenas	66
9.2.3.6. Coste total del agua en una EDAM y conclusiones	66
9.3. Desalación de aguas salobres	67
9.3.1. Desalación por ósmosis inversa.....	67
9.3.1.1. Coste energético de las EDAS	67
9.3.1.2. Coste de inversión	67
9.3.1.3. Coste de mantenimiento y personal	68
9.3.1.4. Coste de aditivos químicos	68
9.3.1.5. Coste de reposición de membranas	68
9.3.1.6. Coste total asociado a desalación de aguas salobres	69
9.3.2. Desalación por electrodiálisis	69
9.4. Resumen	69
10. REUTILIZACIÓN DE AGUAS	71
10.1. Introducción	71
10.2. Calidad requerida para los diferentes usos	71
10.3. Tratamientos de aguas residuales para reuso	73
10.3.1. Desalación para aguas provenientes de una EDAR	74
10.3.1.1. Desalación por ósmosis inversa	74
10.3.1.2. Electrodiálisis reversible	74
10.3.1.3. Pretratamientos necesarios para la desalación de ARU	74
10.3.2. Otros tratamientos	76
10.4. Costes de la reutilización de ARU	76
10.5. Consideraciones finales sobre la reutilización de ARU	77
11. LA GESTIÓN INTEGRAL DE LA PRODUCCIÓN DE AGUA COMO ALTERNATIVA AL PHN	79
12. CONCLUSIONES Y CONSIDERACIONES CON RESPECTO AL PHN	82
12.1. Costes del agua desalada	82
12.2. La desalación en el PHN	83
12.3. Consideraciones medioambientales	84
12.4. Consideraciones estratégicas y finales	84

ANEXO 1. Descripción y parámetros de operación del proceso MSF	86
ANEXO 2. Evaporadores de las plantas MED-TVC.....	91
ANEXO 3. Instalaciones de ósmosis inversa.....	92
a3.1. Ecuaciones básicas y parámetros característicos.....	92
a3.2. Membranas y agrupación	95
a3.3. Equipos de alta presión	96
a3.4. Sistemas de recuperación de energía	96
DIRECCIONES DE INTERÉS	98
ABREVIATURAS	99
BIBLIOGRAFÍA Y DOCUMENTACIÓN	101
LISTA DE FIGURAS	105
LISTA DE TABLAS	106
LISTA DE GRÁFICAS	108

1. OBJETO.

Uno de los más graves problemas que se avecina en el siglo XXI es la escasez de agua, entendiéndose por ello un agua en cantidad y calidad apta para el consumo humano. La transferencia de volúmenes de las zonas con excedentes hídricos a las zonas deficitarias es una solución contemplada en numerosas ocasiones, pero no es la ideal a adoptar ya que la tendencia climática actual, de constantes y bruscas variaciones en cuanto al régimen de precipitaciones, no permite asegurar las transferencias provenientes de la cuenca cedente. Es necesario por lo tanto recurrir, en condiciones desgraciadamente no muy excepcionales (sequías) al aporte de recursos externos de naturaleza no convencional (es decir, no proveniente de fenómenos naturales). Uno de los procesos que permiten ese aporte externo es la desalación, que obviamente puede ser utilizado no sólo para condiciones de escasez de recursos convencionales. Con ello se quiere recalcar que la aportación de recursos externos no convencionales es necesaria para dotar las cuencas deficitarias, ya que las transferencias de otras cuencas no van a ser capaces de asegurar la cuota estimada años atrás. Y sin embargo, dicha aportación no convencional sí evitaría la realización de grandes obras hidráulicas para un trasvase intercuenas.

El Plan Hidrológico Nacional (PHN) en esencia recoge la justificación de una transferencia intercuenas de volúmenes hídricos. Entre otras actuaciones incluye la construcción de las infraestructuras hidráulicas necesarias para un trasvase desde el río Ebro para el abastecimiento urbano de Cataluña, y otro para el abastecimiento urbano, industrial y agrícola de las Comunidades Valenciana, Murciana y Andaluza (Almería), con un total de 1.050 hm³. A la vista de ello, y de los datos históricos analizados sobre las disponibilidades del río Ebro, este informe trata de mostrar con rigor el estado actual de la técnica de una alternativa no contemplada suficientemente en dicho PHN: la desalación. **Máxime cuando España es el país más desarrollado de Europa tanto en tecnología de la desalación como en número y capacidad de instalaciones.** El I Congreso de la Asociación Española para la Desalación y Reutilización de aguas (AEDyR, 28-29 de Noviembre de 2000) ha dado buena prueba de la capacidad de innovación y expansión de la desalación en numerosas áreas del territorio español.

La finalidad del informe radica en la exposición de la realidad de una alternativa que al menos debería ser seriamente contemplada en dicho Plan -con ello nos referimos a un análisis económico de la misma envergadura que el de las infraestructuras hidráulicas necesarias para el trasvase-, a la vista de la experiencia satisfactoria del funcionamiento y gestión de este tipo de plantas en nuestro país y en el resto del mundo desde hace más de 30 años. No se trata de un informe crítico del PHN, tan sólo cuando aparecen datos concernientes a la desalación de aguas como alternativa a un coste demasiado elevado.

2. GENERALIDADES.

2.1. Consumo hídrico

La vida humana depende de la existencia de agua dulce. Así, la Organización Mundial de la Salud (OMS) establece un mínimo de 150 litros por persona y día para mantener un límite de higiene que no permita la transmisión de enfermedades infecciosas. De ellos, tan sólo 0.75 litros es el mínimo necesario a beber (2.5 litros es lo normal), y el resto para cocinar, lavar, ducharse, etc. (Al-Gobaisi, 1997).

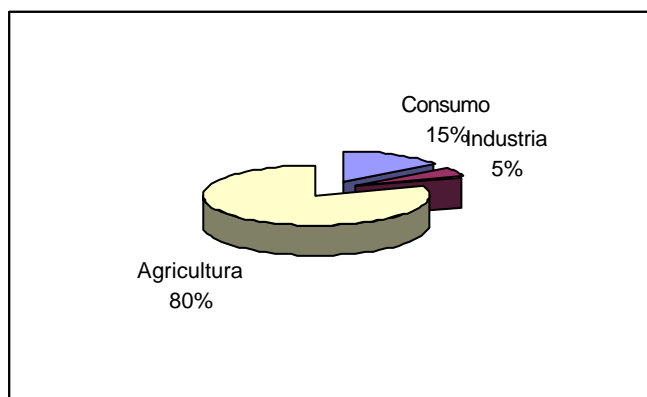
Generalmente, el nivel de desarrollo local incide en el consumo de agua dulce per cápita, pero normalmente la climatología también incide en ese consumo. La siguiente tabla resume el consumo per cápita anual a finales de 1992, donde se puede ver que España es un gran consumidor de agua dulce:

Continentes ó país	m ³ /hab. y año
Europa	726
Asia	526
África	244
América del Sur	476
América del Norte y Central	1.692
Oceanía	907
Antigua URSS	1.330
España	1.174
Total mundial	660

Tabla 2.1. Consumo hídrico per cápita por continentes y en España.

Fuente: Lanz (1997).

De este consumo, la mayoría se destina a la agricultura (en España supone el 80% del consumo total, aunque parte del mismo retorna a sus cuencas hidrográficas procedentes), a la industria (en nuestro país se evalúa en un 5%) y al consumo humano propio (el 15% restante para España, incluyendo el consumo turístico de carácter marcadamente estacional).



Gráfica 2.1. Distribución del consumo por sectores en España.

Fuente: MIMAM (2000).

Esta tendencia es similar en otros países, pero el grado de desarrollo incide en un mayor peso en el consumo industrial (en USA es el 49%) en detrimento del consumo agrario (en China llega al 87% del total).

2.2. Recursos hídricos.

Las reservas de agua en el planeta son inmensas. Estimaciones actualizadas calculan que la hidrosfera contiene cerca de 1.386 millones de km³, sin embargo los océanos que representan una gran reserva de este agua, cubriendo las tres cuartas partes de la superficie terrestre y el 97.5% del total, tienen una salinidad media de más de un 3% en peso, haciéndola inservible para cualquier tipo de uso (agrícola, industrial o humano). El resto es agua dulce, pero el 68.9% está en forma permanente como hielo y nieve que cubren las regiones polares y montañosas (y por lo tanto de uso imposible). Del resto de agua dulce disponible, el 29.9% son aguas subterráneas y tan sólo el 0.3% se encuentra en lagos, reservorios y sistemas de los ríos, están en consideración de ser utilizables sin limitaciones técnicas ni económicas.

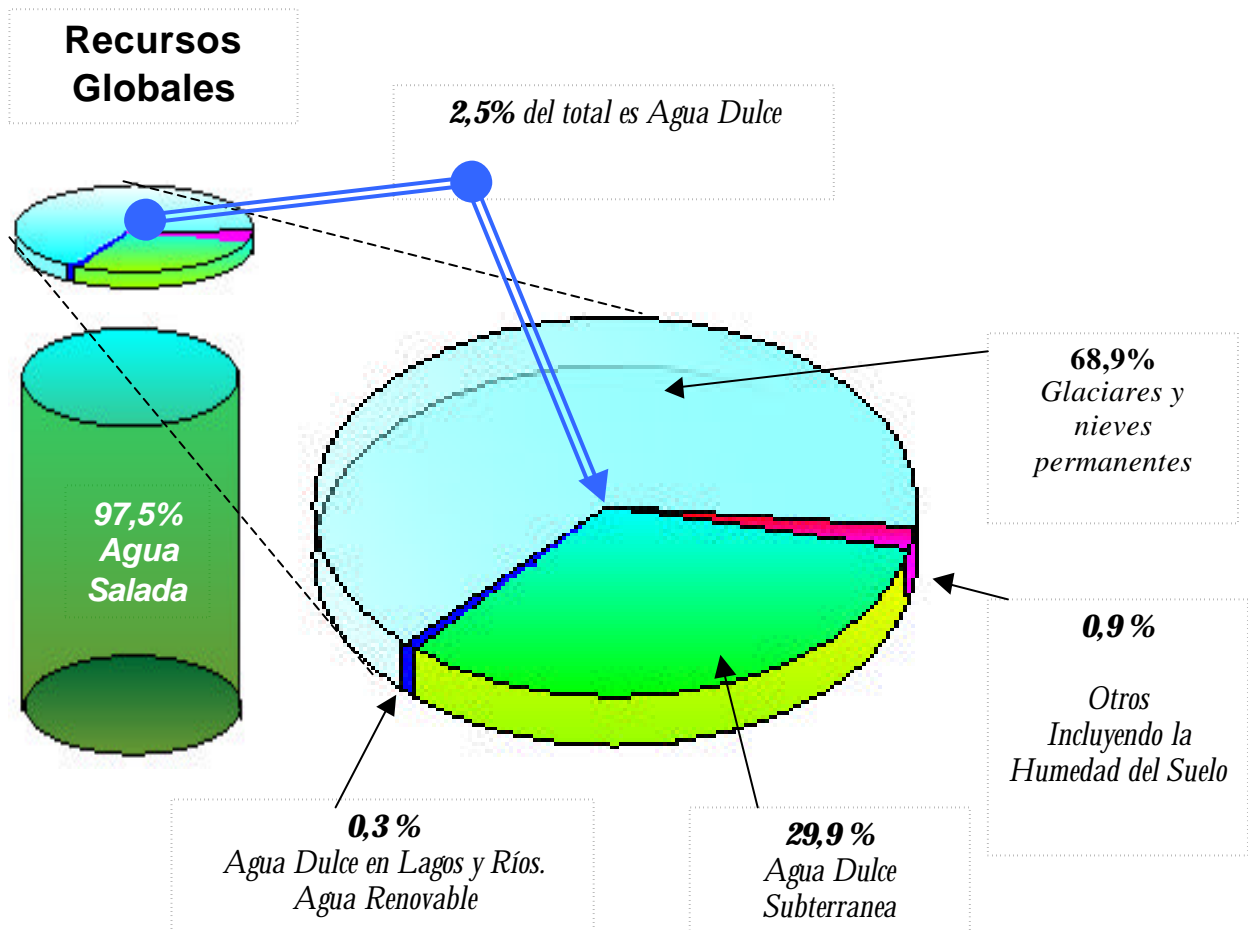


Figura 2.1. Recursos globales de la Tierra.
Fuente: Shiklomanov (1999).

El ciclo hidrológico terrestre (evaporación-formación de nubes-precipitación-escorrentía) es el responsable de la existencia de los recursos hídricos renovables mencionados anteriormente (el período de renovación de los hielos polares es de 10.000 años y de 17 para los acuíferos y glaciares, cuando éstos se extraen a una velocidad superior a la recarga la diferencia se considera recurso hídrico no renovable). El valor medio de los recursos

hídricos renovables mundiales se calcula en 42.750 km³ por año, pero este valor es muy variable con el espacio y el tiempo.

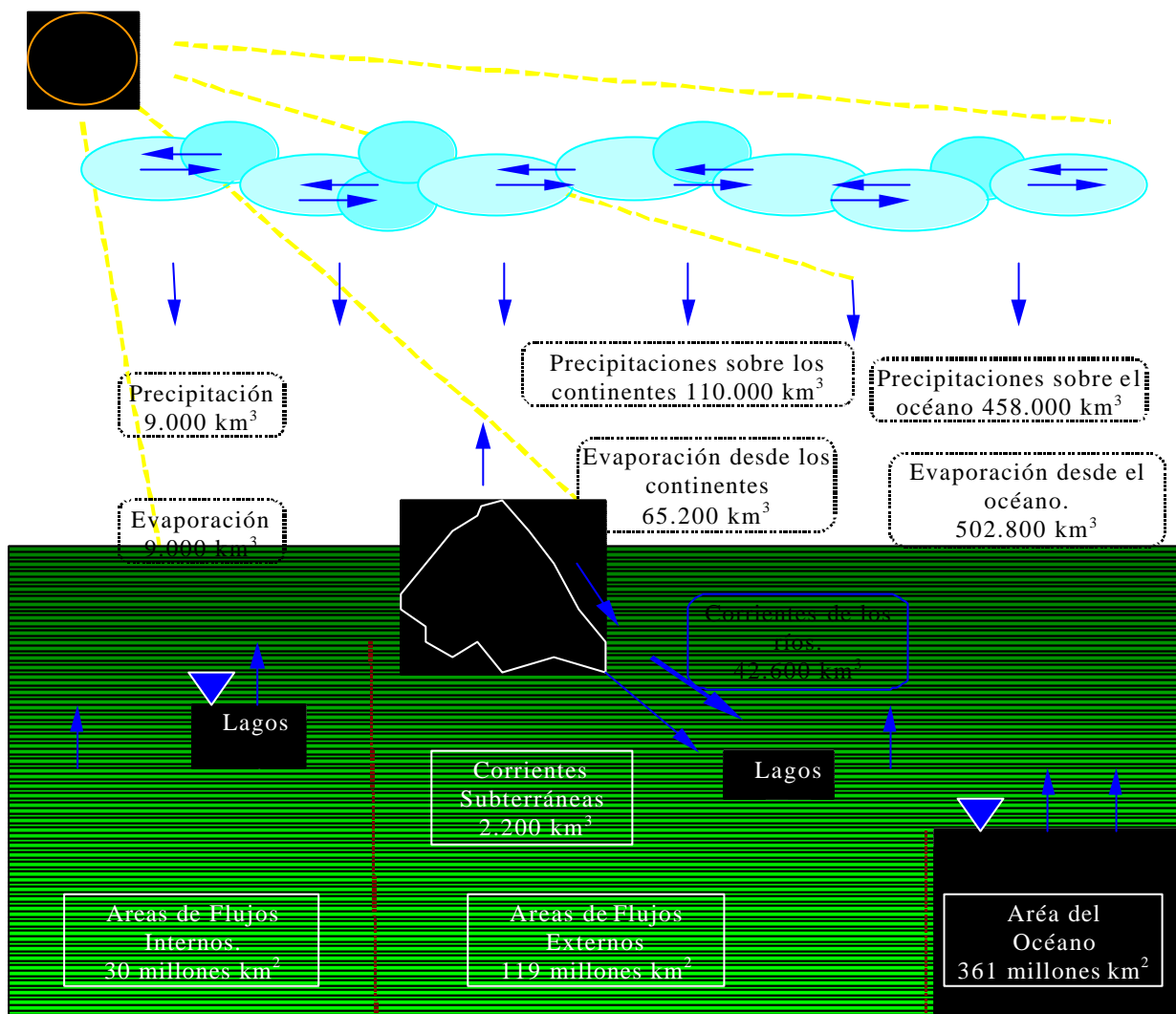


Figura 2.2. Ciclo hidrológico del agua en la Tierra.
Fuente: Shiklomanov (1999).

Ciñéndonos a la variabilidad espacial de dichos recursos, la tabla 2.2 muestra la distribución por continentes y de algunos países como dato significativo de dicha irregular distribución en el planeta.

País o continente	Anual (km ³)	Per cápita (m ³ /hab)
Alemania	96	1.165
España	110,3	2.775
Francia	180	3.065
Irlanda	47	13.187
Noruega	384	87.691
Reino Unido	71	1.219
Rusia	4.312,7	29.115
Suiza	42,5	5.802
EUROPA	6.142,9	
Canadá	3.287	120.000

Estados Unidos	2.930	11.500
NORTE AMÉRICA	6.217	
Argentina	270	17.000
Brasil	6.220	45.200
Colombia	1.200	35.000
Cuba	34,7	3.110
Méjico	345	3.670
Perú	1.100	50.300
Venezuela	856	36.830
CENTRO Y SUR AMÉRICA	10.683	
Argelia	13,87	460
Angola	184	15.376
Camerún	268	18.711
Egipto	2,8	43
Guinea	226	29.454
Libia	0,6	100
Sierra Leona	160	34.957
Sudáfrica	44,8	1.011
ÁFRICA	3.988,1	
Arabia Saudita	2,4	119
China	2.800	2.231
Emiratos Árabes	0,15	64
India	1.850	1.896
Indonesia	2.530	12.251
Japón	547	4.344
Kuwait	0,02	11
Malasia	456	21.259
Turquía	196	3.074
ASIA	12.686,5	
Australia	343	18.596
Nueva Zelanda	313	89.400
OCEANÍA	1.539,3	

Tabla 2.2. Recursos hídricos anuales renovables locales y per cápita de diferentes países y por continentes.

Fuente: Shiklomanov (1999) y WRI (1999).

Como puede verse en esta tabla, hay 6 países que acaparan casi el 50% de los recursos hídricos totales: Brasil, Canadá, Rusia, Estados Unidos, China e India. Hay 5 grandes ríos que concentran el 27% de dichos recursos renovables: Amazonas, Ganges-Brahmaputra, Congo, Amarillo y Orinoco. **Lo que sí queda muy claro es la mala distribución de los recursos hídricos que existe en el planeta, con zonas de baja población y abundancia de recursos difícilmente aprovechables.** La cifra anual de 1.000 m³/hab. de recursos hídricos renovables se considera el límite a partir del cual una zona ó país se considera que tiene estrés hídrico y por lo tanto se impide su desarrollo (Al-Gobaisi, 1997), ya que ello implica la utilización de recursos de naturaleza no renovable (principalmente acuíferos sobreexplotados, los cuales van perdiendo su calidad paulatinamente). De acuerdo a esta convención, todos los países de Oriente Medio y del Magreb sufren de estrés hídrico, pero sin embargo la media de España es claramente superior a este valor límite, aunque la distribución de los recursos en las cuencas hidrográficas, muestre las grandes

diferencias que han provocado déficit estructural en algunas de estas cuencas, debido principalmente a la agricultura intensiva de regadío.

La realidad actual es que 26 países sufren ya problemas de escasez (300 millones de personas), y las proyecciones para el año 2050 son mucho más pesimistas, con 66 países afectados que concentran las 2/3 partes de la población mundial (Medina, 2000).

Además, la existencia de recursos suficientes no implica que su calidad o disponibilidad permita su simple uso: así puede ponerse como ejemplo que hay 1.500 millones de personas que dedican de 3 a 4 horas diarias a conseguir agua (Intermón, 1998), generalmente en los países africanos y asiáticos; y también pueden destacarse los problemas de salobridad de regiones de la India donde se concentran más de 60 millones de personas.

2.3. Conclusiones.

La desigualdad patente entre los recursos y el consumo hídrico en las diferentes zonas del planeta provoca situaciones de insostenibilidad muy claras, en aquellos lugares con menores recursos hídricos renovables que su consumo demandado.

Queda claro que es necesario ahorrar agua en todos los sectores consumidores, desde la utilización de técnicas de riego más avanzadas que eviten el despilfarro de la misma, el ahorro en el consumo humano, con su posterior depuración y hasta reutilización.

Pero aún así hay zonas del planeta (muy áridas o aisladas) que tienen una dependencia de fuentes externas de agua para su desarrollo. La desalación es un proceso que permite aumentar dichos recursos, pero tiene un coste económico que sólo pueden asumir los países ricos, por lo tanto esta solución a la falta de agua es una de las razones que no permite un desarrollo equitativo de la sociedad, al igual que un trasvase intercuenca de zonas más pobres a las más ricas. La purificación de aguas consumidas anteriormente también es una nueva fórmula para incrementar los recursos, que suele conllevar un proceso de similares características al utilizado para la desalación y por lo tanto se incluirá en este informe.

3. CONCEPTO DE DESALACIÓN.

La desalación es el proceso de separación de sales de una disolución acuosa, pero que puede ampliarse al proceso de separación del agua de las sales, ya que existen tecnologías que realizan este proceso y el fin último a perseguir es la separación de ambos componentes para el uso humano del agua dulce producto. En castellano existe también la acepción “desalinizar” para describir el mismo proceso, gramaticalmente correcta pero a nuestro entender proveniente de otro proceso de naturaleza diferente al que se estudia aquí: “desalinización” es el proceso de lavado y drenaje de suelos salinizados por efectos del riego de aguas de naturaleza salobre. De ahora en adelante, sólo se utilizará la acepción “desalar” para abordar el fenómeno que nos interesa en este informe: disminuir el contenido salino de las aguas para su posterior uso.

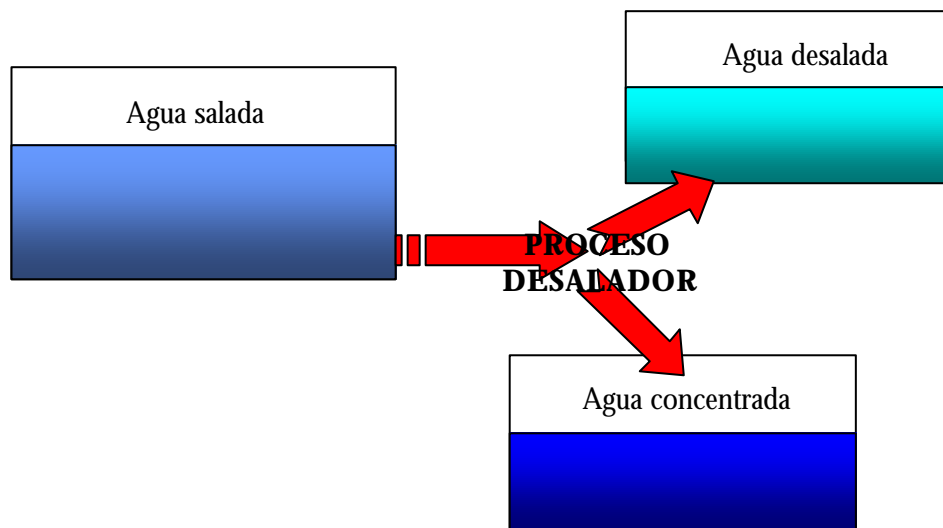


Figura 3.1. Esquema de un proceso de desalación.
Fuente: Elaboración propia.

Desde el punto de vista termodinámico, la desalación de agua se obtiene aplicando la energía necesaria para separar las sales que contiene, previamente mezcladas en un proceso natural. La cantidad mínima necesaria para desalar puede obtenerse por lo tanto siguiendo el camino inverso del proceso de desalación, midiendo la energía que se desprende en la disolución de sales en agua pura, y puede representarse por la fórmula (El-Sayed y Silver, 1980):

$$W_{min} = R \cdot T \cdot \ln a_w \quad (3.1)$$

donde W_{min} es la energía desprendida en el proceso de mezcla (kWh/m^3), R es la constante universal de los gases ($R=0.082 \text{ atm}\cdot\text{l}/\text{K}\cdot\text{mol}$), T es la temperatura absoluta de la mezcla ($T=\text{Temperatura}(\text{° C})+273.15$), y a_w es la actividad de los electrolitos que componen la disolución salina, de valor cercano a la unidad para aguas marinas. Como la actividad depende fuertemente de la concentración de dichos electrolitos (es directamente proporcional a la molalidad de los constituyentes tanto iónicos como no iónicos), la energía mínima desprendida en el proceso y por lo tanto la necesaria para desalar depende de la concentración del agua de aporte: **para un agua bruta media del mar de 35.000 ppm de total de sólidos disueltos (TDS), dicha energía a 25° C es de 0.88 kWh/m³, pero baja hasta los 0.3 kWh/m³ en el caso de una concentración de 15.000 ppm.**

Pero **ningún proceso tiene el carácter de reversibilidad total que implica que pudiéramos desalar agua salada con estos costes energéticos tan bajos**: si ello fuera así podríamos obtener agua dulce a menos de 7 ptas/m³ para el caso de agua marina, suponiendo un coste medio del kWh de 8 ptas. Ello implicaría un proceso extremadamente lento y cerca del equilibrio, algo que es imposible de materializar físicamente. La tecnología actual sólo permite desalar a un coste energético al menos cinco veces mayor al mínimo para cada concentración (existen rozamientos, fricciones, flujos de calor que no son convertibles totalmente en trabajo, etc), con lo que el desarrollo futuro al menos es esperanzador, ya que realmente el coste mínimo hace que el coste energético asociado a la desalación sea menor que el coste de amortización o de mantenimiento de una instalación desaladora.

Aunque la desalación propiamente dicha comenzó a finales del siglo XIX en el aprovechamiento del vapor de las calderas de los pequeños barcos para su consumo humano, **en el propio ciclo hidrológico del agua existe el fenómeno de la desalación en el proceso de evaporación de aguas de mar**: anualmente se evaporan de los océanos 502.800 km³ de agua y 65.200 km³ de los continentes (Botero, 2000). Generalmente todos los procesos de desalación más antiguos estaban relacionados con el fenómeno de la evaporación de aguas con contenido salino, con la utilización de vapor de proceso o energía solar, hasta la aparición en los años 60 de las membranas con calidad suficiente para filtrar concentraciones de agua de mar. A partir de ahí, este tipo de tecnologías ha sido mas rápidamente desarrollada que otro tipo de procesos, especialmente en España debido a las calidades del agua introducida en sus módulos.

Una vez descrito el fenómeno de la desalación, en los siguientes apartados se hará una descripción de los principales métodos de desalación existentes en la actualidad, incidiendo mas detalladamente en aquellos procesos con una mayor implantación dentro del panorama mundial de la desalación.

4. PROCESOS DE DESALACIÓN.

Como anteriormente se mencionó, en la desalación se puede separar el agua de las sales ó viceversa. Por lo tanto la primera clasificación de los métodos de desalación se atenderá a la forma de separación de sales y agua. Las siguientes clasificaciones se harán según el tipo de energía utilizada para el proceso, y finalmente por el proceso físico de la desalación. La tabla 4.1 muestra dicha clasificación de los métodos existentes:

Separación	Energía	Proceso	Método
Agua de sales	Térmica	Evaporación	Destilación súbita (flash)
			Destilación multiefecto
			Termocompresión de vapor
			Destilación solar
		Cristalización	Congelación
			Formación de hidratos
	Filtración y evaporación	Destilación con membranas	
Mecánica	Evaporación	Compresión mecánica vapor	
	Filtración	Ósmosis Inversa	
Sales de agua	Eléctrica	Filtración selectiva	Electrodialisis
	Química	Intercambio	Intercambio iónico

Tabla 4.1. Métodos de desalación existentes en el mercado.

Fuente: Elaboración propia.

Antes de profundizar en cada uno de los métodos de desalación que aparecen en este capítulo, es necesario centrar la atención en el consumo energético necesario para obtener agua dulce en condiciones de potabilidad. **Si obtenemos agua pura evaporando agua salada (desde luego uno de los métodos mas ineficientes), la cantidad de energía necesaria para dicho cambio de fase es nada menos que 2.258 kJ/kg a presión atmosférica. Ello supone 0.627 kWh/kg, es decir, alrededor de 5 pesetas por litro de agua desalada (el precio del kWh tomado es de 8 ptas/kWh). Lógicamente, a este precio sólo podría pagarse el agua para la ingestión, pero no para el resto de usos cotidianos.** Por lo tanto, en todos métodos son especialmente importantes los sistemas de recuperación de energía, para evitar este consumo tan desmesurado que haría impensable utilizar técnicas de desalación.

En los siguientes apartados, se va a dar una breve descripción de los procesos de desalación existentes actualmente, incidiendo de forma más detallada en aquellos más extendidos en la industria desaladora. Estos procesos serán ampliados en sucesivos anexos mostrados al final del informe.

4.1. Destilación súbita por efecto flash (MSF).

El proceso de destilación súbita por efecto flash es el primer proceso desalador por destilación digno de mencionar. **La desalación obtenida por destilación consiste en evaporar agua para conseguir vapor que no contiene sales (éstas son volátiles a partir de 300° C):** el vapor se condensa posteriormente en el interior ó exterior de los tubos de la instalación. Los sistemas desaladores suelen funcionar por debajo de la presión atmosférica, por lo que necesitan un sistema de vacío (bombas ó eyectores), además de extracción del aire y gases no condensables.

La utilización de una cámara flash permite una evaporación súbita (y por lo tanto de carácter irreversible) previa a su posterior condensación. Generalmente, la cámara flash se sitúa en la parte baja de un condensador de dicho vapor generado en la cámara inferior. Por lo tanto, la recuperación de calor necesario para la evaporación se obtiene gracias a la unión sucesiva de etapas en cascada a diferente presión, y es necesario el aporte mínimo de la condensación de un vapor de baja o media calidad proveniente de una planta de generación eléctrica. La figura 4.1 muestra el esquema típico de una planta de evaporación súbita por efecto flash (Multi Stage Flash Distillation, MSF).

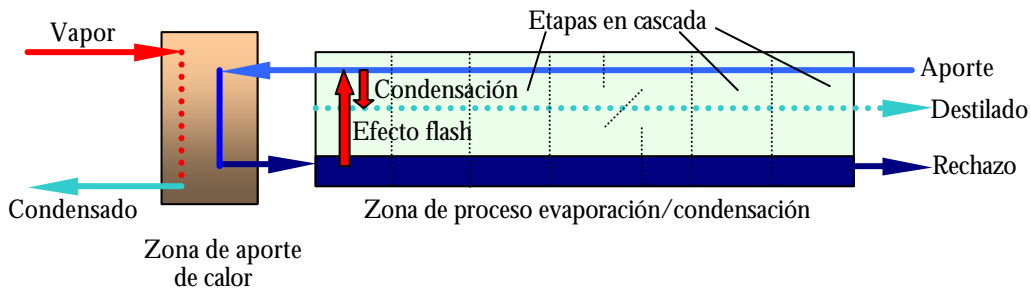


Figura 4.1. Esquema de una planta de evaporación súbita por efecto flash.

Fuente: Elaboración propia.

Como veremos posteriormente **es el proceso evaporativo más ampliamente utilizado en el mundo, de implantación masiva sobre todo en Oriente Medio**. Ello se debe a varias razones:

- ?? Es especialmente válido cuando la calidad del agua bruta no es buena (alta salinidad, temperatura y contaminación del agua aportada).
- ?? Su acoplamiento con plantas de potencia para formar sistemas de cogeneración es muy fácil y permite una gran variabilidad de rangos de operación en ambas plantas.
- ?? Su robustez en la operación diaria frente a otros procesos de destilación es notoria.
- ?? La capacidad de las plantas MSF es mucho mayor que otras plantas destiladoras (ver anexo 1), en virtud a la cantidad de etapas conectadas en cascada sin problemas de operación.

Sin embargo, las plantas MSF tienen un grave inconveniente. **Su consumo específico, definido como la cantidad de energía consumida para producir 1 m³ de agua desalada**, es de los más altos de los procesos estudiados. A este consumo contribuyen el consumo térmico proveniente de la planta productora de electricidad, más alto que otros procesos de destilación debido al efecto flash; y el consumo eléctrico debido al gran número de bombas necesarias para la circulación de los flujos de planta. Además de su alto coste de operación, su coste de instalación no es más bajo que otros procesos de desalación.

El anexo 1 describe de forma más detallada el proceso y los parámetros de operación característicos de este tipo de plantas. En el apartado 6 aparece un pequeño inventario de las plantas están implantadas por toda la geografía mundial, donde se puede ver que un porcentaje elevado de las mismas corresponde a plantas MSF combinadas con plantas productoras de electricidad (comúnmente llamadas plantas duales).

4.2 Destilación por múltiple efecto (MED).

Al contrario que en el proceso MSF por efecto flash, en la destilación por múltiple efecto (MED) la evaporación se produce de forma natural en una cara de los tubos de un intercambiador aprovechando el calor latente desprendido por la condensación del vapor en la otra cara del mismo. Una planta MED (Multi-Effect Distillation) tiene varias etapas conectadas en serie a diferentes presiones de operación (ver figura 4.2), dichos efectos sucesivos tienen cada vez un punto de ebullición más bajo por los efectos de dicha presión. Esto permite que el agua de alimentación experimente múltiples ebulliciones, en los sucesivos efectos, sin necesidad de recurrir a calor adicional a partir del primer efecto. El agua salada se transfiere luego al efecto siguiente para sufrir una evaporación y el ciclo se repite, utilizando el vapor generado en cada efecto. Normalmente también existen cámaras flash para evaporar una porción del agua salada que pasa al siguiente efecto, gracias a su menor presión de operación.

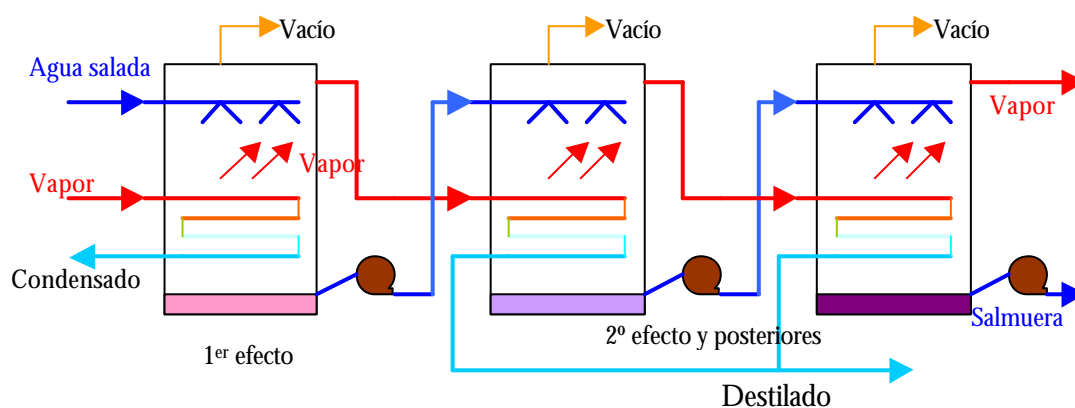


Figura 4.2. Destilación múltiple efecto (MED) con evaporadores horizontales (HFF) (ver anexo 2).
Fuente: Elaboración propia.

La primera etapa se nutre de vapor externo de un sistema recuperativo, una turbina de contrapresión (ó extracción de una de condensación). Un condensador final recoge el agua dulce en la última etapa precalentando el agua de aportación al sistema. Por lo tanto las plantas MED también conforman sistemas de cogeneración al igual que las MSF consumiendo una porción de energía destinada a priori a la producción eléctrica.

La destilación por múltiple efecto no es un proceso solamente utilizado para la desalación. La industria azucarera utiliza constantemente destiladores de múltiple efecto, aunque en este caso el propósito no es obtener destilado sino concentrar mezclas de otra naturaleza a la estudiada aquí. El tipo de intercambiadores utilizado para plantas MED viene resumido en el anexo 2.

La capacidad de este tipo de plantas suele ser más reducida que las MSF (nunca suele superar los 15.000 m³/día) (Al-Shammiri y Safar, 1999), aunque ello se debe mas a razones de índole política que operativa: las MSF más grandes se instalan en Oriente Medio y las mayores MED están instaladas en las islas del Caribe para abastecer de agua estas zonas de gran presión turística. También es verdad que el número máximo de efectos conectados en serie raramente es mayor de 15, a excepción de las MED con múltiples efectos integrados en cada uno de ellos, llegando en este caso a un número total de más de 50.

Sin embargo, tienen un mejor rendimiento global con respecto a una MSF: el GOR (ver anexo 1 para su definición) de este tipo de plantas puede llegar a 15 sin ningún problema, reduciendo por lo tanto el consumo específico de este proceso respecto de una planta MSF con idénticas capacidades. Ello se debe principalmente a la irreversibilidad asociada al proceso de separación flash que aparece en los procesos MSF. Además el consumo eléctrico es menor que la MSF ya que necesita menos bombas de circulación al no existir recirculación de salmuera.

Ello implica que el peso de este proceso en el contexto mundial de la desalación es mucho menor que el de las MSF ó la ósmosis inversa (OI) que se comentará posteriormente.

4.3. Compresión térmica de vapor (TVC)

La compresión térmica de vapor (TVC, Thermal Vapor Compression) **obtiene el agua destilada con el mismo proceso que una destilación por múltiple efecto (MED), pero utiliza una fuente de energía térmica diferente: son los llamados compresores térmicos (o termocompresores), que consumen vapor de media presión proveniente de la planta de producción eléctrica** (si tenemos una planta dual, sino sería de un vapor de proceso obtenido expresamente para ello) y que succiona parte del vapor generado en la última etapa a muy baja presión, comprimiéndose y dando lugar a un vapor de presión intermedia a las anteriores adecuado para aportarse a la 1ª etapa, que recordemos era la única que consume energía en el proceso.

La figura 4.3 muestra la configuración típica de una planta TVC con intercambiadores de tubos horizontales (lógicamente los tipos de intercambiadores son idénticos a los del proceso MED).

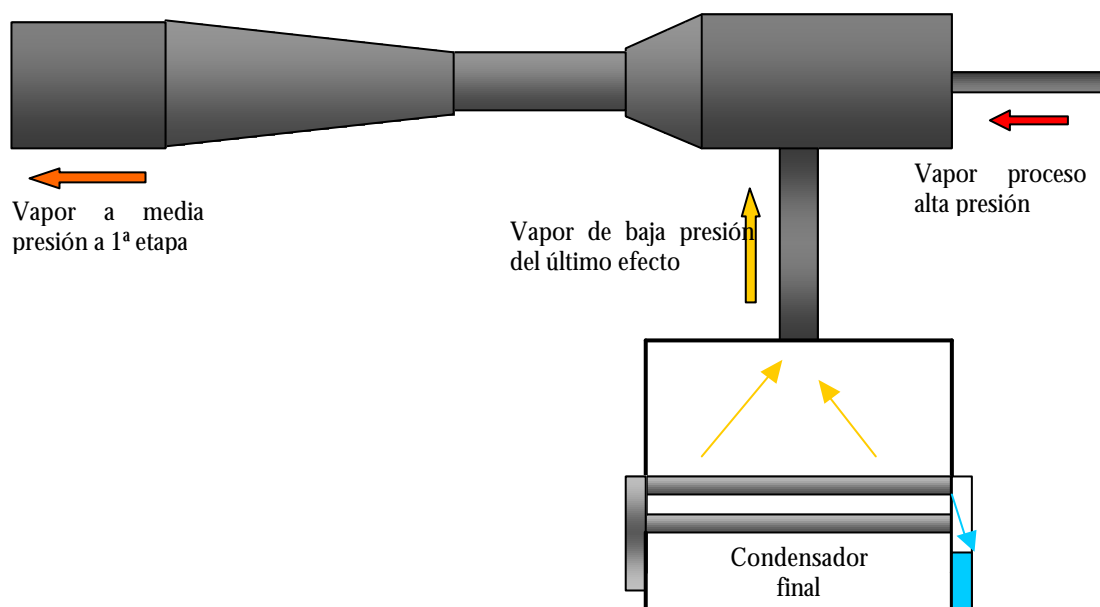


Figura 4.3. Esquema típico del termocompresor acoplado a una planta TVC con HFF (ver anexo 2).

Fuente: Elaboración propia.

El rendimiento de este tipo de plantas es similar a las de las plantas MED, sin embargo su capacidad desaladora puede ser mucho mayor al permitirse una mayor adaptabilidad de toma de vapor de las plantas productoras del mismo. Muchas veces se las considera el mismo proceso, pero aquí se tratarán individualmente ya que el consumo de energía de la planta se realiza por un equipo diferente. **Como ejemplo puede destacarse el proyecto de construcción en el sudoeste de California de una planta TVC con intercambiadores VFF (ver anexo 2) y múltiple efecto por etapa de alrededor de 75 MGD (340.000 m³/día) (Al-Shammiri y Safar, 1999).**

4.4. Destilación solar.

La energía solar es el método ideal para producir agua en zonas áridas y muy aisladas del resto de poblaciones. **A pesar de tener un coste energético nulo y escasa inversión necesaria, su baja rentabilidad reside en su escasa producción** por metro cuadrado de colector al destilarse tan sólo unos litros al día en el caso de condiciones climatológicas favorables. Por lo tanto no se han desarrollado a gran escala en lugares con un consumo elevado de agua dulce.

Hay varias formas de producir agua dulce usando la energía solar, en este párrafo nos ceñiremos a la destilación por colectores (ver figura 4.4). **El principio básico es el del efecto invernadero: el sol calienta una cámara de aire a través de un cristal transparente**, en cuyo fondo tenemos agua salada en reposo. Dependiendo de la radiación solar y otros factores como la velocidad del viento (que enfría el vidrio exterior), una fracción de esta agua salada se evapora y se condensa en la cara interior del vidrio. Como dicho vidrio está colocado inclinado, las gotas caen en un canal que va recogiendo dicho condensado evitando que vuelvan a caer en el proceso de condensación a la lámina inferior de salmuera. Aunque pueden utilizarse técnicas de concentración de los rayos solares apoyándose en lentes ó espejos (parabólicos ó lisos), no suelen compensar las mayores pérdidas de calor que ello acarrea y su mayor coste económico.

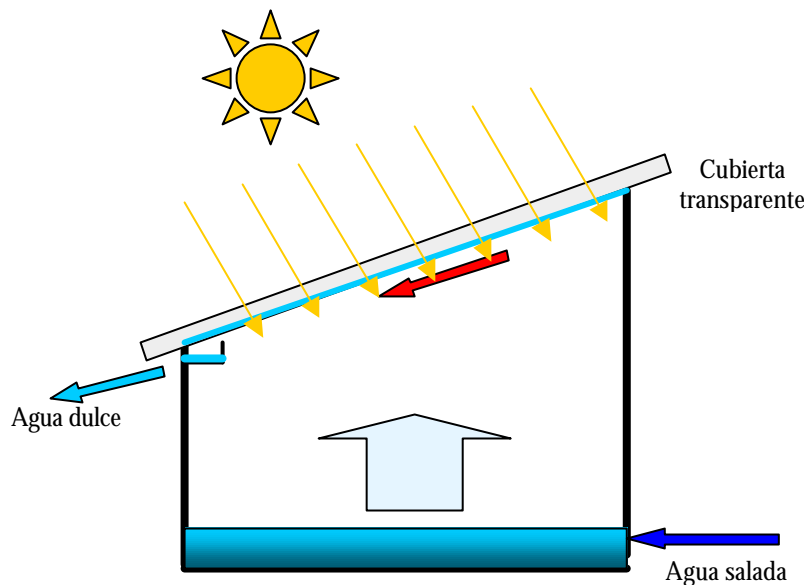


Figura 4.4. Esquema de un colector solar para destilación.
Fuente: Elaboración propia.

Pero la energía solar también puede ser la fuente de energía de un proceso de destilación, incluso de producción eléctrica para pequeñas instalaciones de ósmosis inversa. Por ejemplo, el uso de colectores de concentración parabólicos (PTC) puede usarse en procesos MSF ó MED dependiendo del coste de los colectores, que son los que determinan la producción de agua por metro cuadrado de PTC (de media producen 10 m³ de agua dulce por m² de colector) y factores climáticos tales como el porcentaje del día en que la planta consume energía solar (factor solar SF) (García, 1999; García, Palmero y Gómez, 1999). Como se puede ver el gran problema de estas instalaciones es que no evita la instalación convencional para producir agua dulce en circunstancias climatológicas adversas.

Un reciente estudio de recopilación de plantas de destilación solar muestra una realidad nada halagüeña: el total de capacidad instalada a escala mundial no supera los 10.000 m³/día, generalmente con colectores parabólicos acoplados a pequeñas unidades MSF ó MED (García y Gómez, 2000). Queda muy claro que estos métodos hoy por hoy no son competitivos económicamente, tan sólo en lugares aislados de suministro eléctrico y de agua es factible pensar en estas instalaciones.

4.5. Congelación.

Este proceso consiste en congelar el agua y recoger los cristales de agua pura formados para fundirlos y obtener un agua dulce independientemente de la concentración del agua inicial. Aunque pueda parecer un proceso muy sencillo tiene problemas de adaptación para su implantación a escala industrial, ya que **el aislamiento térmico para mantener el frío y los mecanismos para la separación de los cristales de hielo deben mejorarse para que este proceso sea algún día competitivo, así como adaptar la tecnología a intercambiadores de frío.** No se ofrecen datos del consumo específico de este proceso porque sólo existen experimentos de pequeña escala no extrapolables a la realidad.

El proceso de congelación es un fenómeno natural que se contempla con mucha facilidad en nuestro Planeta, como se indicó en el apartado 2, alrededor del 70% del agua dulce está contenida en los polos terrestres. La utilización de hielo de los polos para el consumo humano es muy poco conveniente para la conservación del equilibrio térmico del Planeta.

4.6. Formación de hidratos.

Es otro método basado en el principio de la cristalización, **que consiste en obtener, mediante la adición de hidrocarburos a la solución salina, unos hidratos complejos en forma cristalina, con una relación molécula de hidrocarburo/molécula de agua del orden de 1/18** (Torres, 1999).

Al igual que el anterior proceso, su rendimiento energético es mayor que los de destilación, pero **conlleva una gran dificultad tecnológica a resolver en cuanto a la separación y el lavado de los cristales que impiden su aplicación industrial.**

4.7. Destilación por membranas.

Es un proceso combinado de evaporación y filtración. El agua salada bruta se calienta para mejorar la producción de vapor, que se expone a una membrana que permite el paso de

vapor pero no del agua (membrana hidrófoba). Después de atravesar la membrana el vapor se condensa, sobre una superficie más fría, para producir agua desalada. En estado líquido, esta agua no puede retroceder atravesando la membrana por lo que es recogida y conducida hacia la salida.

Desgraciadamente, este proceso **sólo ha sido desarrollado a nivel de laboratorio** por varios grupos de investigación científica (uno de ellos español, de la Universidad de Málaga; García y Florido, 2000), aunque sus perspectivas son francamente esperanzadoras.

4.8. Compresión mecánica de vapor (CV).

En la compresión mecánica de vapor (CV) evapora un líquido, en este caso el agua salada, en un lado de la superficie de intercambio, y se comprime lo suficiente para que condense en el otro lado y pueda mantenerse el ciclo de destilación de agua salvando las pérdidas del proceso y la elevación de la temperatura de ebullición del agua salada respecto a la pura (Boiling Point Elevation, BPE).

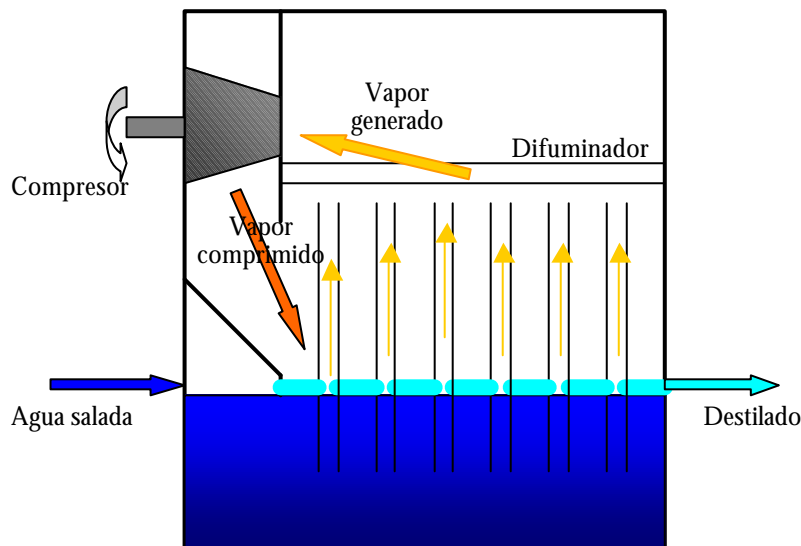


Figura 4.5. Diagrama de la compresión de vapor (CV) con evaporador de tubos verticales (VTE, ver anexo 2).

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 4.5 podemos ver el esquema de un compresor de vapor acoplado a un intercambiador de tubos verticales (VTE) de una única etapa, simplificando todos los elementos auxiliares podemos ver que el vapor interior de los tubos es comprimido a presión atmosférica en torno a 0.2 bares (un sobrecalentamiento de unos 5° C) en un compresor volumétrico especial para trasegar vapor. El vapor ligeramente sobrecalentado se condensa en el exterior de los tubos del intercambiador, siendo recogido por una bomba en su parte inferior. Como puede observarse, si el proceso fuera ideal sólo deberíamos vencer la BPE para mantener el proceso, aunque no es posible realmente (hay pérdidas de calor y presión, fricciones en las bombas de circulación, etc); **en todo caso el consumo específico de estas instalaciones es el más bajo de los procesos de destilación: normalmente el consumo eléctrico equivalente está sobre los 10 kWh/m³ (la mitad que una planta MSF).**

Aunque su consumo específico es con mucho el menor de las instalaciones de destilación, **tiene un gran inconveniente: la inexistencia de compresores volumétricos de vapor de baja presión de tamaño suficiente para una producción considerable**. Así no se conocen unidades CV mayores de 5.000 m³/día, y estos compresores sólo permiten un máximo de 3 etapas a diferentes presiones conectadas en cascada (si fueran necesarias más etapas harían falta instalar nuevos compresores). Normalmente existen intercambiadores de precalentamiento del agua de aporte con el destilado y la salmuera tirada al mar (como el número de etapas es reducido hay que recuperar la energía de salida de la salmuera), ayudados por una resistencia eléctrica en los arranques, así como todos los dispositivos de tratamiento de agua anteriores y posteriores al proceso de destilación.

Finalmente, reseñar que la compresión mecánica de vapor es un proceso muy utilizado en la industria, generalmente en procesos de concentración de la industria alimentaria (zumos, quesos, etc.) (Monasterio, Hernández y Saiz, 1993).

4.9. Osmosis inversa

La ósmosis es un proceso natural que ocurre en plantas y animales. De forma esquemática (figura 4.6) podemos decir que cuando dos soluciones con diferentes concentraciones se unen a través de una membrana semipermeable (es decir, permite el paso de agua pero no de sales), existe una circulación natural de la solución menos concentrada para igualar las concentraciones finales, con lo que la diferencia de altura obtenida (suponemos los recipientes de cada soluto al mismo nivel inicial) se traduce en una diferencia de presión, llamada osmótica.

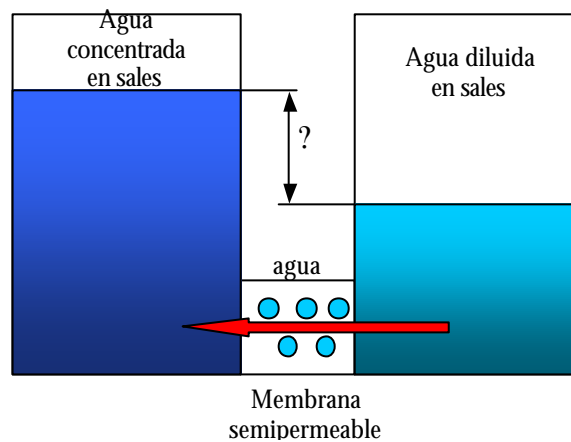


Figura 4.6. Proceso natural de ósmosis.
Fuente: Elaboración propia.

Sin embargo aplicando una presión externa que sea mayor a la presión osmótica de una disolución respecto de otra, el proceso se puede invertir, haciendo circular agua de la disolución más concentrada y purificando la zona con menor concentración, obteniendo finalmente un agua de pureza admisible, aunque no comparable a la de procesos de destilación. Por eso es altamente recomendable para la filtración de aguas salobres, en las que la sal a rechazar es mucho menor que en aguas marinas. La cantidad de permeado depende de la diferencia de presiones aplicada a la membrana, sus propiedades y la concentración del agua bruta, y la calidad del agua permeada suele estar en torno a los 300-500 ppm de TDS, cifra un orden de magnitud mayor al agua obtenida en un proceso de evaporación.

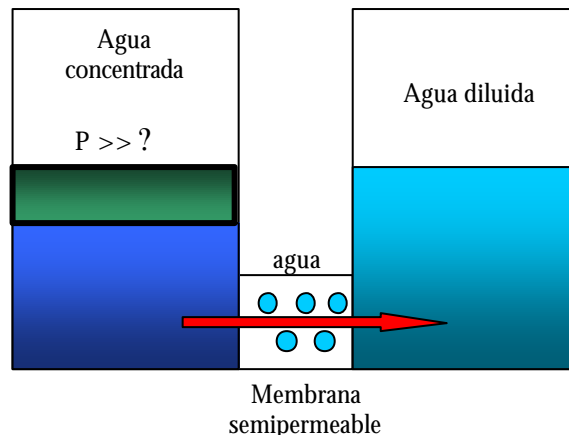


Figura 4.7. Proceso de ósmosis inversa.
Fuente: Elaboración propia.

Una membrana para realizar osmosis inversa debe resistir presiones mucho mayores a la diferencia de presiones osmóticas de ambas soluciones. **Por ejemplo un agua bruta de 35.000 ppm de TDS a 25°C tiene una presión osmótica de alrededor de 25 bar, pero son necesarios 70 bar para obtener permeado).** Además deber ser permeable al agua para permitir el flujo y rechazar un porcentaje elevado de sales. **Sin embargo no se puede considerar la OI como un proceso de filtración normal, ya que la dirección de flujo del agua bruta es paralela y no perpendicular como un caso cualquiera de filtración.** Ello implica que tan sólo una parte del agua bruta de alimentación pasa realmente a través de la membrana (un proceso de filtración lo haría en su totalidad), y que no se acumulen sales en la membrana al arrastrarse por el agua bruta que no pasa por la membrana.

El proceso de ósmosis inversa es tan simple que a priori solo son necesarias las membranas que filtren el contenido salino y el equipo presurizador. **Pero una planta de OI es mucho más compleja que una agrupación de módulos y una o varias bombas,** por ejemplo las membranas se ensucian muy fácilmente con la operación continuada y necesita un pretatamiento intensivo (mucho mayor que en los procesos de destilación), que comprende entre otros (ver figura 4.8):

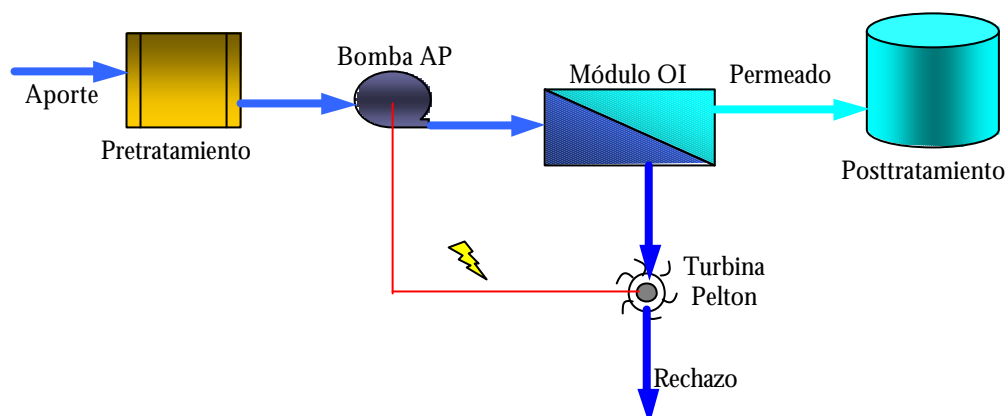


Figura 4.8. Desalación por ósmosis inversa (OI) con turbina Pelton incorporada (ver anexo 3).
Fuente: Elaboración propia.

- ?? Clorado para reducir la carga orgánica y bacteriológica del agua bruta.
- ?? Filtración con arena para reducir la turbidez.

- ?? Acidificación para reducir el pH y limitar la formación de depósitos calcáreos.
- ?? Inhibición con polifosfatos de la formación de sulfatos de calcio y bario.
- ?? Declorado para eliminar el cloro residual.
- ?? Cartuchos de filtrado de partículas requeridos por los fabricantes de membranas.
- ?? Microfiltración (MF) y ultrafiltración (UF) en el caso de aplicaciones industriales muy específicas ó en reutilización de aguas residuales (ver apartado 10 para su descripción).
Estos procesos no son específicamente de desalación, por lo que no se incluyen en este apartado.

El postratamiento en una planta de este tipo sólo suele ser un tratamiento complementario para conseguir las condiciones de potabilidad requeridas. En el apartado 5 del informe se incluyen detalles de dichos tratamientos.

El proceso de ósmosis inversa es predominante en nuestro país. Las razones de su imposición con respecto a otras tecnologías son las siguientes:

- ?? **El consumo eléctrico específico de una instalación de ósmosis inversa es el menor de los estudiados hasta ahora** (6-8 kWh/m³), pero se puede aprovechar la energía contenida en la salmuera rechazada a alta presión para rebajar esa cifra hasta por debajo de 3 kW·h/m³. **Ello supone un coste económico menor de 25 ptas/m³, considerando un coste de la electricidad de 8 ptas/kWh.**
- ?? Al ser un proceso de filtración, el coste energético depende de la concentración del agua bruta, cosa que no ocurre en las tecnologías de evaporación.
- ?? Permite una adaptabilidad mayor que otras plantas a una ampliación de su capacidad si la demanda es creciente en la zona.
- ?? Los costes de inversión de una instalación de OI están por debajo de otras tecnologías de destilación.

Sin embargo, las limitaciones tecnológicas asociadas a las membranas con algunos tipos de aguas marinas impide su implantación total en el resto del mundo.

Dada su importancia en el contexto del resto de métodos de desalación, **el anexo 3 incluye información adicional de las instalaciones de OI:** ecuaciones básicas del proceso, parámetros característicos, tipos y agrupaciones de membranas en la instalación, tipos de bombas de alta presión y sistemas de recuperación de energía actualmente desarrollados.

4.10. Electrodiálisis (ED).

Este proceso permite la desmineralización de aguas salobres haciendo que los iones de diferente signo se muevan hacia zonas diferentes aplicando campos eléctricos con diferencias de potencial aplicados sobre electrodos, y utilizando membranas selectivas que permitan sólo el paso de los iones en una solución electrolítica como es el agua salada.

El proceso puede verse más claramente en la figura 4.9, donde los iones van a los compartimentos atraídos por los electrodos del signo contrario, dejando en cubas paralelas el agua pura y en el resto el agua salada más concentrada. **Es un proceso que sólo puede separar sustancias que están ionizadas y por lo tanto su utilidad y rentabilidad está sólo especialmente indicada en el tratamiento de aguas salobres ó reutilización de aguas residuales,** con un consumo específico y de mantenimiento comparable en muchos casos a la ósmosis inversa (De Armas, Pérez y von Gottberg, 1999).

En algunas ocasiones, la polaridad de los ánodos y cátodos se invierte alternativamente para evitar el ensuciamiento de las membranas selectivas al paso de dichos iones. En este caso se habla de electrodiálisis reversible (EDR).

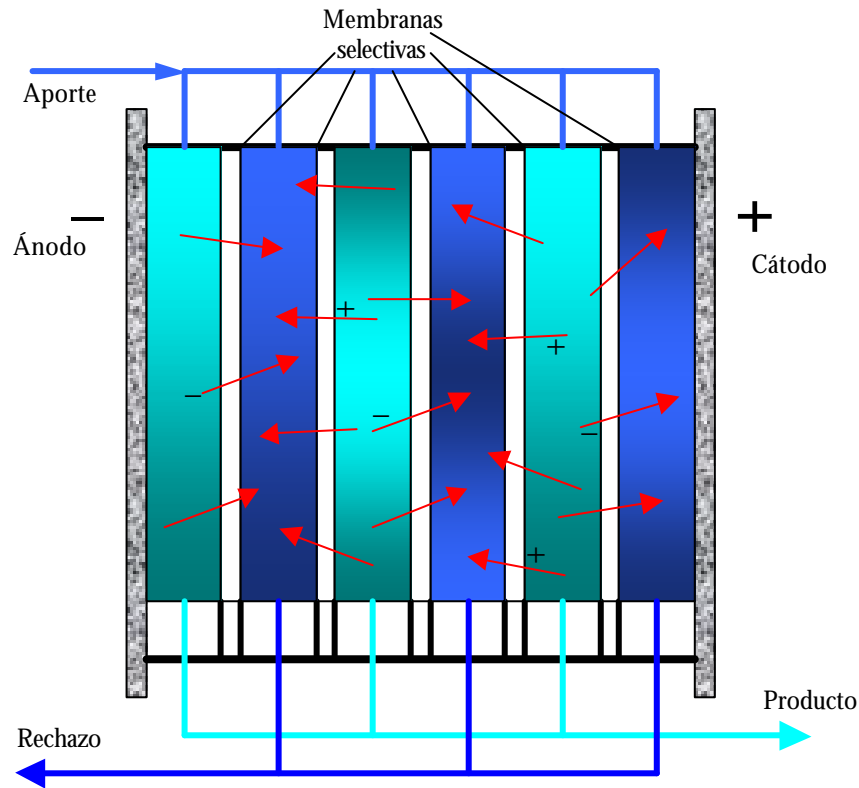


Figura 4.9. Proceso de electrodiálisis.
Fuente: Elaboración propia.

4.11. Intercambio iónico

Las resinas de intercambio iónico son sustancias insolubles, que cuentan con la propiedad de que intercambian iones con la sal disuelta si se ponen en contacto. Hay dos tipos de resinas: aniónicas que sustituyen aniones del agua por iones OH^- (permutación básica), y resinas catiónicas que sustituyen cationes por iones H^+ (permutación ácida).

La desmineralización por intercambio iónico proporciona agua de gran calidad si la concentración de sal es menor de 1 gr/l. Por lo tanto se utiliza para acondicionar agua para calderas a partir de vapores recogidos o acuíferos, o en procesos industriales con tratamiento de afino. Las resinas normalmente necesitan regeneración con agentes químicos para sustituir los iones originales y los fijados en la resina, y terminan por agotarse. Su cambio implica un coste difícilmente asumible para aguas de mar y aguas salobres.

Este proceso tiene una implantación industrial muy profunda en las plantas de tratamiento de aguas para el ciclo de vapor de centrales térmicas: **por ejemplo, la Central Térmica Teruel (Andorra, Teruel), propiedad de ENDESA y con una potencia de 1.050 MW tiene resinas en su planta de tratamiento de aguas.**

4.12. Resumen

Después de una detallada exposición de los diferentes procesos de desalación actualmente existentes, tan sólo existen unos pocos procesos tecnológicamente viables actualmente a escala industrial: Evaporación súbita por efecto flash (MSF), destilación múltiple efecto (MED), termocompresión de vapor (TVC) y compresión de vapor mecánica (CV), ósmosis inversa (OI) y electrodiálisis (ED).

A modo de recopilación es conveniente realizar un análisis comparativo de las ventajas e inconvenientes de cada uno de estos métodos tecnológicamente avanzados para la producción de agua desalada. La tabla 4.2 muestra la valoración de todos los métodos comentados anteriormente frente a ciertas características exigibles a un método desalador.

Característica	MSF	MED-TVC	CV	OI	ED
Tipo energía	térmica	térmica	eléctrica	eléctrica	eléctrica
Consumo energético primario (kJ/kg)	alto (>200)	alto/medio (150-200)	medio (100-150)	bajo (<80)	bajo (<30)
Coste instalaciones	alto	alto/medio	alto	medio	medio
Capacidad producción (m ³ /día)	alta (>50.000)	media (< 20.000)	baja (<5.000)	alta (>50.000)	media (<30.000)
Posibilidad ampliación	difícil	difícil	difícil	fácil	fácil
Fiabilidad de operación	alta	media	baja	alta	alta
Desalación agua de mar	sí	sí	sí	sí	no
Calidad agua desalada (ppm)	alta (< 50)	alta (< 50)	alta (< 50)	media (300-500)	media (<300)
Superficie terreno requerida de instalación	mucha	media	poca	poca	poca

Tabla 4.2. Valoración de diferentes características deseables para los métodos de desalación existentes en el mercado.

Fuente: Elaboración propia.

En el apartado 9 se verán los valores numéricos de los costes de operación, instalación y por lo tanto de producción final del agua desalada, y por tal motivo no se incluyen aquí. Como el consumo energético primario en una planta que consuma electricidad no tiene racionalidad, es necesario suponer un rendimiento a la planta generadora de electricidad que nos proporcione el consumo necesario (alrededor de un 30% para grandes centrales térmicas).

A la vista de esta tabla, queda claro que **la ósmosis inversa es en conjunto la tecnología más favorable en España, en base a su mejor precio de obtención del agua, su ampliabilidad, y su fiabilidad.** Tan sólo la calidad del agua es peor que el resto de tecnologías, si no se contempla la posibilidad de añadir un segundo paso para reducir esa concentración salina residual tras un único paso por las membranas.

5. CALIDAD DE LAS AGUAS.

5.1. Condiciones del agua bruta aportada.

Se ha constatado en el apartado anterior que la calidad del agua producto requerida, así como la del agua bruta aportada al proceso de desalación es fundamental a la hora de elegir uno u otro proceso. Por ejemplo, podemos señalar que los procesos de destilación consumen la misma cantidad de energía independientemente de la salinidad del agua aportada, por lo que sólo son apropiadas para la desalación de aguas marinas. Y también que aguas especialmente puras para aplicaciones específicas industriales (léase para el circuito de vapor de una central térmica convencional) necesitan procesos específicos como el intercambio iónico o postratamientos si utilizamos inicialmente un proceso de ósmosis inversa.

Ciñéndonos a la cantidad de sólidos totales disueltos en el agua, la tabla 5.1 muestra la denominación de esa agua en función de su salinidad (Rueda y otros, 2000).

Denominación del agua	Salinidad (ppm de TDS)
Ultrapura	0,03
Pura (calderas)	0,3
Desionizada	3
Dulce (potable)	< 1.000
Salobre	1.000-10.000
Salina	10.000-30.000
Marina	30.000-50.000
Salmuera	>50.000

Tabla 5.1. Rangos de salinidad de los diferentes tipos de agua.
Fuente: Fariñas (1999); Medina (2000).

En cuanto a la salinidad de los mares y océanos del Planeta, tampoco es ni mucho menos constante, tal y como se aprecia en la tabla 5.2.

Mar/océano	Salinidad (ppm de TDS)
Mar Báltico	28.000
Mar del Norte	34.000
Océano Pacífico	33.600
Océano Atlántico Sur	35.000
Mar Mediterráneo	36.000
Mar Rojo	44.000
Golfo Pérsico	43.000-50.000
Mar Muerto	50.000-80.000
MEDIA MUNDIAL	34.800

Tabla 5.2. Salinidad media de los mares y océanos principales del planeta.
Fuente: Abu Qdais (1999); Handbury, Hodgkiess y Morris (1993); Medina (2000).

El contenido salino de las aguas salobres depende fuertemente de la localización del acuífero de donde se extraiga esa agua. En este caso, la contribución de la sal común (NaCl) puede ser menor que otro tipo de constituyentes, provenientes de técnicas de fertilización generalmente.

A la vista de estos datos, está claro que **la salinidad** (más fácilmente medible a través de su conductividad eléctrica CE (dS/m) o facilidad de una sustancia para conducir la corriente eléctrica. El agua pura no conduce la electricidad pero se va haciendo conductora con la adición de diversos constituyentes de naturaleza electrolítica), así como otros constituyentes químicos integrados en el agua (especialmente crítico cuando hablamos de aguas salobres o residuales, que pueden incluir componentes de difícil eliminación), **y la temperatura de aporte influyen mucho a la hora de elegir el proceso desalador que pueda eliminarlos convenientemente**. Por ejemplo, la dureza y temperatura de las aguas del Golfo Pérsico siempre han condicionado fuertemente el uso de membranas de ósmosis inversa hasta hace muy pocos años. El pretratamiento de esta agua bruta necesario para cada proceso desalador es a veces más costoso y complejo que el proceso desalador en sí, por lo que aunque un pretratamiento pueda suplir las deficiencias que plantea ese proceso su coste y complejidad puede finalmente hacer inviable esa instalación. La tabla 5.3 resume el tipo de proceso básico a utilizar en función del tipo de agua de aporte especificada.

Proceso	Agua de mar	Agua salobre
MSF		
MED		
TVC		
CV		
OI		
ED		

Tabla 5.3. Proceso desalador a aplicar en función del tipo de agua bruta.
Fuente: Elaboración propia.

5.2. Calidad requerida al agua.

La calidad del agua requerida depende claramente de su uso. (Splieger y El-Sayed, 1994). Así, para ciertos procesos industriales aguas de hasta 5.000 ppm pueden usarse pero en otros como centrales eléctricas (ver tabla 5.4) el límite máximo es ínfimo. En la agricultura, algunos cultivos toleran hasta las 2.000 ppm, aunque ello depende de la tierra, clima, composición del agua salobre, método de riego y fertilizantes aplicados. En cuanto al consumo humano, su límite es de 1.000 ppm, aunque en climas excesivamente cálidos un aporte extra de sales (si son principalmente cloruro sódico) puede ser beneficioso para el cuerpo humano. Aunque el consumo humano es de sólo unos 2-3 litros para ingestión, la desalación no sería ningún problema para este uso, si hubiera otro sistema de abastecimiento de agua de peor calidad para otros servicios propios tales como lavado, riego de jardines, cocinado, etc.

La normativa vigente española referida a la calidad de las aguas requeridas, el Real Decreto 1138/1990 de 14 de Septiembre adapta a la legislación española la Directiva Europea 80/778/CEE de 15 de Julio sobre la misma materia. En él se definen las características de un agua potable, con las concentraciones máximas que no pueden ser rebasadas y además fija unos niveles guía deseables para el agua potable. El decreto divide los parámetros en:

- ?? Organolépticos.
- ?? Físico-químicos.
- ?? Sustancias no deseables.
- ?? Sustancias tóxicas.
- ?? Microbiológicos.
- ?? Radiactividad

y menciona que las Comunidades Autónomas podrán fijar excepciones siempre que no entrañen un riesgo para la salud pública. El apartado específico por aguas ablandadas o desaladas se fija en tres parámetros:

?? pH: debe estar equilibrado para que el agua no sea agresiva.

?? Alcalinidad: debe tener al menos 30 mg/l de HCO_3^- .

?? Dureza: debe tener al menor 60 mg/l de Ca^{++} , que implica un acondicionamiento químico del agua producto desalada.

Posteriormente, la Directiva Europea 98/83/CEE de 3 de Noviembre establece unos nuevos requisitos mínimos a cumplir a partir de dos años después de su edición. Incluye una serie de parámetros divididos en tres partes:

?? Microbiológicos.

?? Químicos.

?? Indicadores (valores guía).

Finalmente, existe una propuesta del EUREAU sobre el reglamento Técnico Sanitario para suprimir los niveles guía, revisar las concentraciones máximas admisibles del sodio, sulfatos y nitritos, basándose en estudios científico-sanitarios. También pide reconsiderar la inclusión de un nivel fijo para el calcio y el potasio, y una concentración máxima para los nitritos.

La tabla 5.4 recoge una comparativa de los parámetros más significativos del agua según las distintas normativas antes mencionadas y la Organización Mundial de la Salud (OMS).

PARÁMETRO	80/778/CEE	98/83/CEE	OMS (guía)
Cloruros (máximo como ión)	200 (*)	250	250
Sulfatos (máximo como ión)	250	250	400
Nitratos (máximo como ión)	50		
Alcalinidad (máximo como mg/l de HCO_3^-)	30	30	
Sodio (máximo como ión)	175 (150)	200	200
Magnesio (máximo como ión)	50	-	
Dureza total (min. como mg/l Ca^{++})	60	-	200
TDS (ppm)	1.500	1.500	1.000
pH	6,5 a 8,5	6,5 a 9,5	6,5 a 8,5
Otros		Agua no agresiva	

* Valor solo recomendado.

Tabla 5.4. Comparativa de parámetros más significativos del agua según normas o estándares actuales.

Fuente: Rueda, Zorrilla, Bernaola y Hervás (2000).

5.3. Calidad obtenida con la desalación.

La tabla 5.5 muestra la calidad media del agua obtenida por los procesos de OI de un único y doble paso, y los procesos de evaporación.

	OI (1 paso)	OI (2 pasos)	Evaporación
Ca ⁺⁺ (mg/l)	2	0,1	0,5
Mg ⁺⁺ (mg/l)	6	0,3	1,5
Na ⁺ (mg/l)	128	15	12
K ⁺ (mg/l)	4	0,8	0,5
HCO ₃ ⁻ (mg/l)	8	0,4	0,1
SO ₄ ⁼ (mg/l)	11	0,6	3,0
Cl ⁻ (mg/l)	208	23	22
TDS (mg/l)	367	40	40
SiO ₂ (mg/l)	0,1	0,0	0,0
CO ₂ (mg/l)	23	12	-
pH	5,8	5,2	7,2

Tabla 5.5. Calidad media del agua obtenida por diferentes procesos de desalación.
Fuente: Rueda, Zorrilla, Bernaola y Hervás (2000).

Por lo tanto, viendo la calidad obtenida con los procesos y los requerimientos legales, **en el postratamiento de las aguas desaladas se tienen que considerar dos aspectos. El primero contemplará el equilibrio químico del agua con el fin de eliminar su alta agresividad y así proteger las redes de distribución**, para ello es necesario reducir el alto contenido de CO₂ con la adición de cal -Ca(OH)₂- para conseguir un agua ligeramente incrustante. **El segundo aspecto se refiere al contenido de dureza del agua de abastecimiento, con el mínimo de 60 mg/l** como se puede ver en la tabla 5.5. La práctica más habitual es su mezcla con aguas superficiales con alto contenido de Ca y Mg, y en el caso de que esto no sea posible se dosifican sales cálcicas como CaCl₂ o CaSO₄, aunque supongan un incremento de Cl⁻ o SO₄⁼ en el agua de abastecimiento. El coste del postratamiento es prácticamente despreciable frente a los de la desalación propiamente dicha, por lo que de aquí en adelante no se mencionarán.

5.4. Conclusiones finales

La calidad del agua obtenida por cualquier método de desalación es apta para el consumo humano tan sólo con un pequeño postratamiento en algunos casos. El pretratamiento es necesario para el adecuado funcionamiento de la instalación desaladora.

En el caso de aguas para uso agrícola o industrial, es necesario estudiar de forma individualizada cada caso. En la mayoría de ellos, los requerimientos mínimos siempre van a ser menores que el del agua potable, con lo que cualquier método desalador cumple holgadamente dichos requerimientos.

6. BREVE HISTORIA DE LA DESALACIÓN

6.1 *Perspectiva mundial.*

Para el hombre siempre ha sido un reto el separar la sal del agua del mar para aprovechar sin límite sus inmensas reservas, ya se tiene constancia de que Aristóteles hablaba de aquello que hacía inservible el agua de mar para poder regar los campos y calmar la sed. Desde la época griega clásica, donde se definieron los principios para la separación del agua y las sales, el hombre siempre ha buscado maneras de lograr esa separación. Existen ejemplos a lo largo de la historia antigua de hombres dedicados a tal esfuerzo: Aristóteles, Tales de Mileto, Demócrito, Plinio, Laguna (médico de Carlos V)... En el siglo XVI ya se utilizaron alambiques en barcos para obtener agua dulce, aunque de naturaleza muy rudimentaria.

Hasta bien entrado el siglo XIX no se puede hablar propiamente de una instalación desaladora de naturaleza estable. Precisamente fue una planta de destilación solar en una explotación minera: las Salinas de Chile (Handbury, Hodgkiess y Morris, 1993). Su rendimiento era ínfimo (20 m³ producidos en una extensión de 4.000 m²), pero era la primera forma de obtener agua dulce para el abastecimiento de la población minera en aquel lugar tan remoto y árido. Posteriormente, en el año 1884 se fabrica por primera vez un evaporador para un barco aprovechando la energía residual del vapor de salida de su caldera. Toda la primera tecnología iba encaminada al efecto pernicioso del agua salada en los tubos de los intercambiadores: incrustaciones, corrosión, etc.

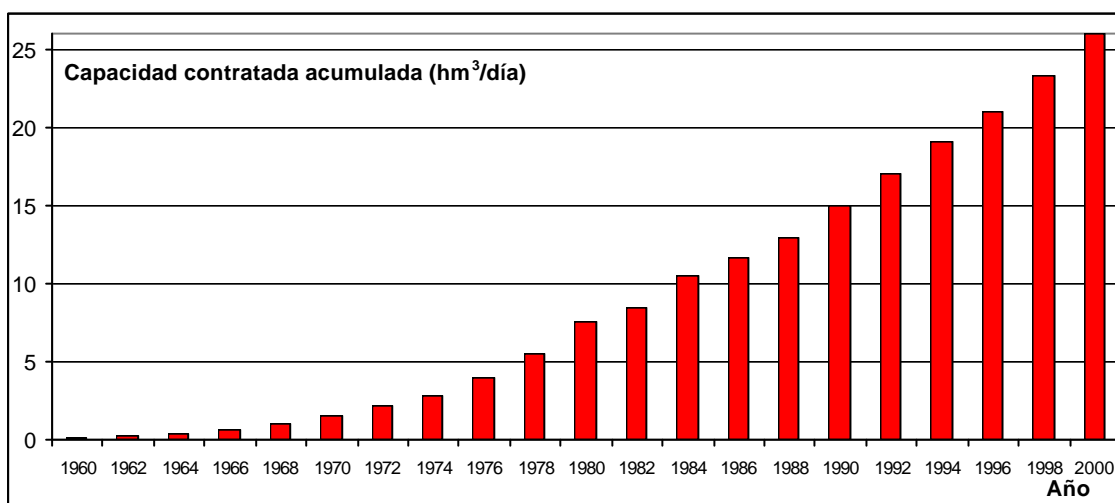
La primera mitad del siglo XX fue totalmente dominada por las tecnologías de evaporación, y se incidió principalmente en el diseño de nuevos tipos de intercambiadores más eficientes y compactos que producían cada vez mas agua dulce con el menor consumo. La facilidad de combinación con instalaciones productoras de energía y su robustez y capacidad ha contribuido a su manutención en el panorama mundial, como veremos en el inventario mundial del apartado 7.

Sin embargo, la dependencia energética primaria de este tipo de plantas y su alto consumo motivó la búsqueda de otras alternativas en el mundo de la desalación, como las membranas. Las primeras investigaciones de membranas para desalación datan de la década de los 30, cuando Ferry las recopila en 1936 y las clasifica por sus materiales utilizados (naturales, de malla porosa, cobre, celofán...). Pero las primeras experiencias de membranas con rechazo de sales aceptable para la desalación son de Reid y Breton en la Universidad de Florida en 1953, que obtuvieron un rechazo del 98% con membranas planas de acetato de celulosa. Posteriormente Loeb y Sourirajan en 1960 mejoraron el flujo de este tipo de membranas. Ya en los 70 el material de las membranas se sustituye por poliamida aromática que aumentaban el rechazo hasta el 99%; la primera membrana de este tipo para agua de mar data de 1972, siendo dos años antes la fecha de aparición de las primeras membranas para aguas salobres. A partir de esta fecha, la búsqueda de nuevos materiales (la mayoría de ellos de naturaleza orgánica como la poliamida aromática) ha contribuido a evitar de forma considerable los problemas derivados de la operación de las mismas (no tolerancia a ciertos componentes) así como disminuir la presión mínima necesaria para la obtención del permeado.

Centrándonos en la evolución histórica de capacidad instalada en el mundo, se puede decir que en el año 1970 dicha capacidad era de tan sólo 1,7 hm³/día, correspondientes a plantas

evaporadoras muy baratas de instalación pero de alto consumo, utilizadas normalmente en los barcos para reducir espacio y de acuerdo con la tecnología disponible en aquel momento (VTE principalmente). Sin embargo, la crisis del petróleo de 1973 fue el revulsivo para que los países exportadores de petróleo, que además son los países con mayor escasez de agua, instalaran gran cantidad de plantas de evaporación acopladas con plantas de producción eléctrica, lo que ha permitido el asentamiento definitivo de la población en estas zonas tan áridas del planeta. En los años 80, una nueva crisis del petróleo y la aparición de las membranas de ósmosis inversa para agua de mar, hizo que el incremento de este tipo de plantas no fuera tan espectacular, además de que la desalación por otros métodos se extendiera más allá del Golfo Pérsico de forma notoria, especialmente en el tratamiento de aguas salobres. Finalmente, **en la década de los 90 los procesos de evaporación siguen pesando considerablemente en Oriente Medio, pero en el resto del mundo la ósmosis inversa es el proceso predominante, penetrando en el difícil mercado árabe** con la aparición de las membranas preparadas para filtrar ese tipo de aguas y la posibilidad de acoplar instalaciones híbridas en el caso de baja demanda eléctrica en sus instalaciones duales.

La gráfica siguiente muestra la evolución histórica de la capacidad mundial instalada en desalación.



Gráfica 6.1. Evolución de la capacidad total de desalación en el mundo.

Fuente: Torres (1999).

6.2. Historia de la desalación en España

La evolución tecnológica de la desalación tiene su perfecto reflejo en nuestro Estado. Las primeras instalaciones desaladoras, algunas de ellas ya desmanteladas o convenientemente readaptadas a nuevas tecnologías, localizadas en Ceuta, Gran Canaria (2), Lanzarote y Fuerteventura, se instalaron hace ya 30 años. Lógicamente la tecnología dominante de la época era la de evaporación, con unidades MSF acopladas a plantas duales.

La tabla 6.1 muestra las características de las plantas desaladoras en esta primera época. La mayoría de ellas ya no operan en la actualidad, o han sido actualizadas con tecnologías más favorables desde el punto de vista energético.

Nombre	Año	Capacidad (m ³ /día)	Proceso
Termolanza* (Lanzarote)	1965	2.000	MSF
Ceuta I*	1969	4.000	MSF
Fuerteventura I*	1970	2.000	MSF
Las Palmas I	1970	20.000	MSF

*No operan actualmente.

Tabla 6.1. Primeras instalaciones desaladoras en España.

Fuente: Torres (1999).

Tras esta primera etapa, la primera crisis del petróleo supuso un freno al desarrollo de las instalaciones desaladoras, que obligó a buscar medidas de ahorro en las instalaciones existentes. Así surgieron los nuevos diseños de los intercambiadores de los procesos evaporativos, con mayor superficie de intercambio que permiten mayor destilado con el mismo consumo. La tabla 6.2 resume las instalaciones nuevas correspondientes a esta nueva época de la historia de la desalación española.

Nombre	Año	Capacidad (m ³ /día)	Proceso
Lanzarote I*	1976	5.000	MSF
Riotinto (Lanzarote)*	1977	2.500	MSF
Fuerteventura II*	1978	2.000	CV
C. T. Carboneras (Almería)	1980	2.200	MSF
Las Palmas II	1980	18.000	MSF

*No operan actualmente.

Tabla 6.2. Plantas desaladoras instaladas en España tras la 1ª crisis del petróleo (1973).

Fuente: Torres (1999).

En la década de los 80, con la aparición de las membranas capaces de producir agua dulce a través del proceso de ósmosis inversa, empieza el desarrollo y la imposición clara de esta tecnología en España. En esta época, las membranas de ósmosis inversa sólo se habían utilizado para la filtración de aguas salobres, donde la electrodiálisis ya era una tecnología perfectamente viable. También debe reseñarse que muchos complejos turísticos privados instalaron pequeñas unidades de CV para solucionar sus problemas de abastecimiento, radicados fundamentalmente en lugares apartados de los núcleos habitados. La tabla 6.3 muestra las instalaciones más representativas de esta época.

Nombre	Año	Capacidad (m ³ /día)	Proceso
Lanzarote II	1987	7.500	OI
Las Palmas III	1989	36.000	OI
Fuerteventura III	1990	5.000	OI
Maspalomas I* (Las Palmas)	1987	10.000	EDR
Denia* (Alicante)	1990	16.000	OI

*Aguas salobres.

Tabla 6.3. Plantas desaladoras instaladas en España en la década de los 80.

Fuente: Torres (1999).

A partir de la década de los 90, las instalaciones de OI se han adueñado del panorama desalador en España. Hay que destacar que la oferta eléctrica española ha podido soportar el consumo de este tipo de instalaciones, aunque también es cierto que esta época coincide con la aparición de sistemas de recuperación de energía que reducen considerablemente el consumo eléctrico derivado en estas instalaciones, donde **España es un país puntero en cuanto a la investigación encaminada hacia esa reducción de consumo** (sólo hay que

ver la cuota de participación española en los congresos internacionales de desalación). La liberalización de los precios de la energía eléctrica en nuestro país, sólo accesible ahora a grandes consumidores también ha contribuido a imponer la OI como casi la única tecnología aplicable, a excepción de la ED para desalación de aguas salobres ó reutilización de aguas residuales urbanas (ARU). La tabla 6.4 muestra algunas plantas instaladas en esta última década.

Nombre	Año	Capacidad (m ³ /día)	Proceso
Lanzarote III**	1991	20.000	OI
Sureste I	1993	10.000	OI
Ibiza II	1996	10.000	OI
Marbella	1997	55.000	OI
Ceuta	1997	16.000	OI
Seat Martorell*	1992	10.500	OI
Repsol Tarragona*	1993	14.400	OI
Son Tugores*	1995	35.000	OI
Bajo Almanzora*	1996	30.000	OI
Mazarrón*	1996	9.000	OI
C. R. Jacarilla*	1997	9.000	OI

*Aguas salobres. ** Tras ampliación de 5.000 m³/día en 1997.

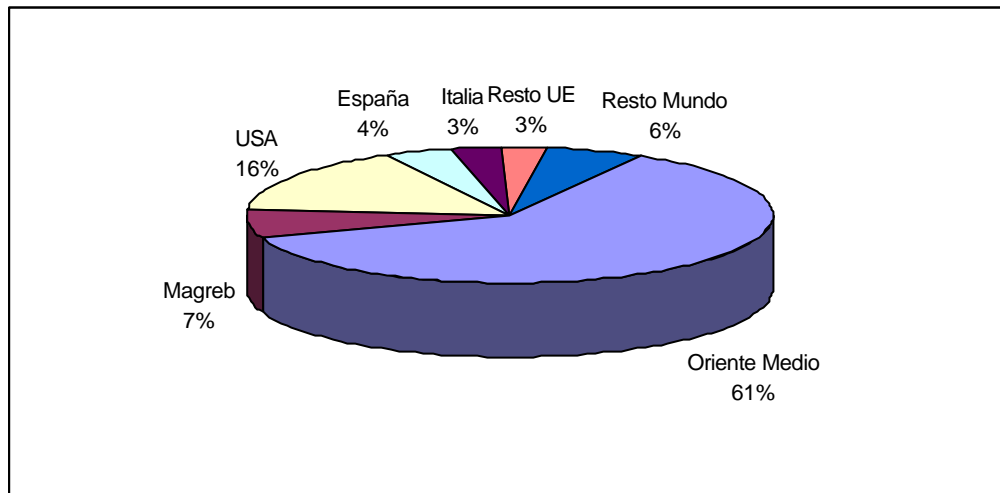
Tabla 6.4. Plantas desaladoras instaladas en España en la década de los 90. Datos hasta el año 1997.
Fuente: Torres (1999), Fariñas (1999).

Como dato anecdótico, algunas viejas MSF acopladas en plantas de cogeneración han sido sustituidas con la última tecnología MED para obtener una mayor cantidad de destilado con el mismo consumo de vapor: en el caso de la desaladora Las Palmas I su capacidad se ha aumentado un 50% hasta alcanzar los 30.000 m³/día.

En conclusión, la desalación en España es una actividad relativamente novedosa con respecto al resto mundial, ya que las necesidades hídricas creadas han sido consecuencia del aumento demográfico y el consumo turístico localizado en el litoral mediterráneo. La tecnología desaladora que se ha impuesto es la de ósmosis inversa, gracias a una oferta eléctrica cubierta y el menor precio en la obtención del agua desalada.

7. SITUACIÓN ACTUAL DE LA DESALACIÓN

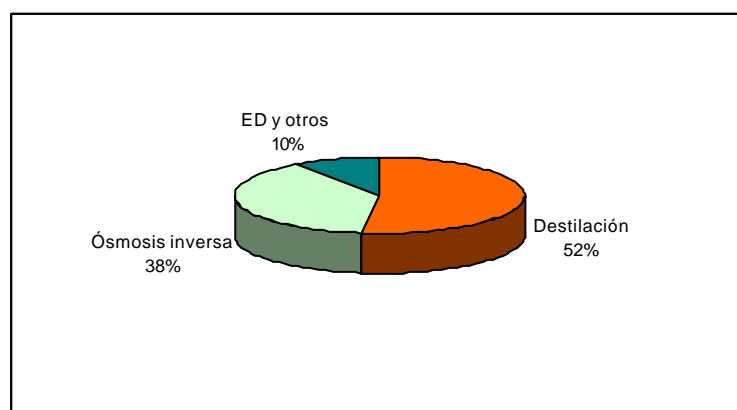
La capacidad total instalada en todo el mundo es de unos 26 hm³/día, de los cuales 14 hm³/día corresponden a agua de mar y 12 hm³/día a aguas salobres (Wangnick, 1998). **El peso de Oriente Medio es muy importante todavía en la industria de la desalación:** el 61% del total de aguas desaladas. Arabia Saudita es el primer país en cuanto a capacidad desaladora (24,4%), seguido de cerca por los Emiratos Árabes Unidos. España es actualmente el noveno país tras siete países árabes, USA, y la antigua URSS. La gráfica siguiente muestra la distribución porcentual por países de la capacidad total instalada actualmente.



Gráfica 7.1. Distribución porcentual por países de la capacidad desaladora instalada.
Fuente: Torres (1999).

Si hablamos del número de unidades instaladas, el primer lugar lo ocupa los Estados Unidos, ya que tienen plantas de pequeño tamaño en comparación con las plantas de Oriente Medio, y Arabia Saudita ocupa el segundo lugar. España está en el quinto lugar de esta lista, ello significa que el tamaño medio de las instalaciones españolas es pequeño en comparación a la media mundial.

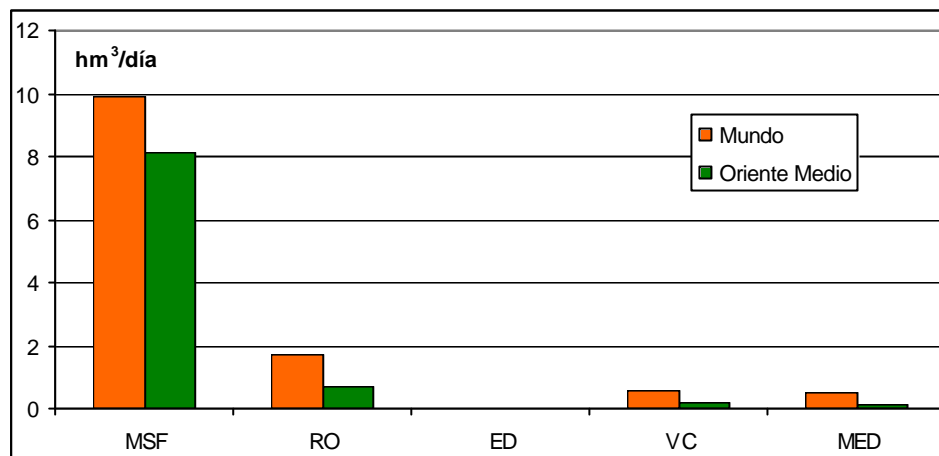
En cuanto a tecnologías, las de destilación suponen el 52%, las de ósmosis inversa son el 38%, y el resto (12%) es principalmente debido a la electrodiálisis.



Gráfica 7.2. Distribución porcentual (por capacidad contratada) de los métodos de desalación.
Fuente: Medina (2000).

7.1. Oriente Medio y Norte de África.

El porcentaje de los países de Oriente Medio se incrementa sustancialmente respecto de ese 61% si sólo hablamos de agua de mar. La tecnología MSF es predominante respecto al resto de técnicas evaporativas, como puede verse en la siguiente gráfica, con alrededor del 80% del total del agua de mar desalada por procesos MSF.



Gráfica 7.3. Capacidad total contratada de agua de mar, por métodos de desalación.
Fuente: Alawadhi (1996).

País	MSF	MED	CV	OI	ED	Total
Arabia Saudí	3.486.985	17.870	75.512	1.751.191	97.776	5.429.334
Argelia	125.222	955	33.525	83.946	19.976	263.624
Bahrain	581.420	1.135	47.264	140.526	13.914	784.259
Egipto	33.652	2.577	12.350	139.133	33.385	221.097
Irán	319.769	18.210	34.478	85.874	20.710	479.041
Iraq	10.824	1.175	-	232.051	88.563	332.613
Israel	7.191	21.028	2.604	196.739	6.578	234.140
Jordania	-	-	1.100	7.726	1.537	10.363
Katar	782.901	3.642	21.334	13.811	-	821.688
Kuwait	1.468.750	11.672	150	166.472	5.093	1.652.137
Libano	520	-	14.670	3.200	-	18.390
Libia	462.575	6.456	71.489	138.430	69.264	748.214
Mauritania	3.000	-	1.654	-	-	4.654
Marruecos	7.002	-	8.064	-	1.404	16.470
Omán	329.927	4.200	14.019	28.837	896	377.879
Palestina	-	-	-	2.246	-	2.246
Somalia	-	-	120	288	-	408
Siria	-	-	-	6.983	1.983	8.966
Sudán	226	750	900	-	-	1.876
Túnez	336	240	4.820	58.615	-	64.011
UAE	4.468.769	9.346	474.505	174.553	5.102	5.132.275
Yemen	2.400	61.506	250	7.411	3.330	74.887
TOTAL						16.678.852

Tabla 7.1. Capacidad instalada (m³/día) en la región MENA desglosada por técnicas de desalación.
Fuente: Watermark (2000).

La tabla anterior muestra un resumen por tecnologías de la capacidad contratada de los países que conforman la región MENA (Oriente Medio y Próximo y Norte de Africa). ellos conforman alrededor del 70% del total.

La capacidad instalada alcanza unas cifras considerables en países de densidad demográfica baja. Por ejemplo podemos destacar los Emiratos Árabes Unidos (UAE), que en tan solo 3 años han doblado su capacidad de desalación para una población no excesivamente alta (2,2 millones de habitantes). **Sin embargo, los países del Golfo no reciclan más del 35% de sus aguas residuales, que contribuye sólo al 2.2% de su suministro, dicha agua es normalmente utilizada para el riego de cultivos y jardines y algún proceso industrial, con un total de 105 plantas de tratamiento con una capacidad conjunta de 2 hm³/día** (Alawadhi, 1999). No cabe duda que dichas plantas deben ser más utilizadas, para prevenir el impacto ambiental y la intrusión del agua salada en las capas freáticas subterráneas.

7.2. América.

La desalación en los Estados Unidos se centra sobre todo en los estados de California, Tejas y Florida, ya que son las zonas costeras más áridas del país (con sequías cada vez más frecuentes en la zona) y tienen la mayor previsión de aumento demográfico del país, con un 45% en el horizonte del año 2025 (Gleick, 1998). **El crecimiento del número y la capacidad de las instalaciones ha sido durante los últimos años el mayor del mundo, casi todas ellas de OI potabilizando aguas de contenido salobre.** La siguiente tabla muestra un extracto de plantas instaladas en USA durante las dos últimas décadas.

Localización	Estado	Capacidad (m ³ /día)	Proceso	Tipo agua
Chandler	Arizona	10.500	OI/NF	Salobre
El Segundo	California	92.000	OI/MF	Residual
Riverside	California	24.800	OI	Salobre
Saratoga	California	23.000	MF	Deteriorada
Water Factory 21	California	23.000	OI	Salobre/mar
Dunedin	Florida	44.100	OI	Salobre
Hollywood	Florida	82.800	OI/NF	Salobre
Napples	Florida	55.200	OI/NF	Deteriorada
Sanibel	Florida	21.600	OI	Salobre
Kemole Weir	Hawaii	36.800	MF	Residual
Mt. Pleasant	South California	31.300	OI	Salobre
Sherman	Tejas	27.600	EDR	Deteriorada
Newport News	Virginia	26.250	OI	Salobre

MF: Microfiltración. NF: Nanofiltración.

Tabla 7.2. Algunas de las plantas de desalación de USA instaladas.

Fuente: Hawaii University (2000).

Aunque no tenga significación en el porcentaje de volúmenes desalados respecto al total mundial, la desalación en las islas caribeñas ha solucionado sus graves problemas de abastecimiento a su colonia turística. Existen numerosas plantas de capacidad reducida (Bahamas, Antigua, Barbados, islas Vírgenes) en su mayoría de tecnología MED, CV y OI (Barendsen y Moch, 1999).

7.3. Asia y Oceanía.

Respecto a la situación en la región del pacífico, aunque no sea importante su cuota de participación con respecto al total mundial, es bastante interesante resaltarla (Goto y otros, 1999). Hay diferentes situaciones en esta región cuando hablamos de la desalación, por ejemplo Japón y Corea tienen su propia tecnología que compite en el mercado mundial. Por el contrario, Australia y China tienen tecnología propia que no exportan, y el resto de países necesitan importarla. Aquí hablaremos de las dos primeras categorías, dejando la India para un comentario final.

Los recursos naturales son también muy variados en esta zona, ya que en algunos países la disponibilidad hídrica se debe a la baja población, y en otros a su elevada pluviometría; se puede decir que los problemas de agua en esta zona sólo son muy localizados. Como es de suponer, el uso agrícola supone la mayor porción en la región, y el consumo doméstico depende fuertemente del nivel de vida de cada país. La tabla 7.3 resume la capacidad instalada de las plantas desaladoras en la región, así como el tipo de proceso de desalación. La capacidad es sensiblemente inferior al total de plantas instaladas en el Golfo. **En conclusión se intuyen problemas en zonas ampliamente pobladas como China, acompañadas de su mejora en el nivel de vida.**

País	Capacidad (m ³ /día)	Proceso	Uso	Tipo agua
Australia	84.000	64% RO 18% VC 12% MSF+ME	45% Industria 33% Gen. eléctrica 15% Municipal	70% salobre 18% residual 10% mar
China	182.000	85% RO 15% MSF+ME	55% Industria 40% Gen. eléctrica. 5% Consumo	50% salobre 20% pura 30% río, residual
Japón	129.885	88% RO 6.5% ED 3.5% MSF 1.8% ME	53% Industria 47% Consumo	Principalmente mar y salobre.
Corea	180.000	> 90% RO Resto ED	100% Industria incluyendo gen. eléctrica.	Pura > salobre > residual > río

Tabla 7.3. Instalaciones desaladoras en el área del Pacífico, datos de 1998.

Fuente: Goto y otros (1999).

La situación en la India también es digna de comentar, donde hay más de 200.000 poblaciones con agua no potable, de ellas alrededor de 50.000 tienen problemas de salinidad (con niveles salinos de hasta 4.000 ppm) que afectan a 60 millones de personas. Además hay numerosos pueblos con un censo medio de 500 a 1.500 habitantes en zonas montañosas ó en deltas de grandes ríos, en los cuales el suministro de agua potable es crucial. En este país se han instalado cientos de pequeñas plantas de ósmosis inversa y electrodiálisis (OI/ED) de 10 a 30 m³/día de capacidad para consumo local (Prabhakar y otros, 1997). Sólo existen 2 plantas de destilación por múltiple efecto (MED) de más de 10.000 m³/día para suplir procesos industriales, pero hay previsión de instalación de grandes plantas.

En los nuevos estados surgidos tras el desmembramiento de la antigua URSS, hay zonas muy áridas (Azerbaián, Turmekistán, Uzbekistán) que utilizan generalmente tecnología MED acoplada a sus centrales eléctricas para resolver sus déficits hídricos.

7.4. Europa.

Con respecto a la situación en Europa, la aportación de la desalación sólo es representativa en islas del Mediterráneo. Por ejemplo, citamos a Chipre, una isla al este del Mediterráneo con graves problemas de abastecimiento de agua, ya que sufre continuas sequías y no tiene ningún río importante. **La instalación de 2 pequeñas plantas MSF, una MED y una planta RO de 20.000 m³/día ha paliado gran parte de esos problemas. Existe un proyecto de una planta RO de 40.000 m³/día para el final de este año** (Echaniz, 1997). La situación en Malta es similar, agravada por su condición de foco turístico.

En el resto de países mediterráneos, la desalación es menos importante en cuanto al porcentaje de aportación al consumo, con pequeñas plantas MSF y VC en el sur de Italia (incluyendo Sicilia y Cerdeña), aunque la capacidad total instalada alcance un valor casi comparable al español. Grecia, y Turquía tienen también pequeñas plantas OI generalmente para abastecimiento de las islas del mar Egeo.

Finalmente, Alemania y Austria tienen plantas de reutilización de aguas residuales o de producción de agua ultrapura para procesos industriales, sin utilizarse para el consumo humano.

7.5. Nuevas instalaciones.

El constante desarrollo y la instalación de nuevas plantas desaladoras en todo el mundo se podría calificar de increíble. La siguiente tabla muestra las nuevas plantas en proyecto o recientemente instaladas en el año 2000 de más de 10.000 m³/día, que indica también la tendencia en cuanto a la tecnología a utilizar en los próximos años, así como la constatación de las áreas que van a seguir dependiendo de la desalación como único recurso a sus demandas.

País	Localización	Capacidad (m ³ /día)	Proceso	Tipo agua
Arabia Saudí	Al Baha I	91.000	MSF	Mar
Arabia Saudí	Al Jobail I (Extensión)	90.000	MSF	Mar
Arabia Saudí	Al Jobail II (Ext.)	727.300	MSF	Mar
Arabia Saudí	Al Jobail III (Ext.)	181.000	MSF	Mar
Arabia Saudí	Al Wasia	200.000	OI	Salobre
Arabia Saudí	Assir II	136.400	MSF	Mar
Arabia Saudí	Jeddah	20.000	OI	Mar
Arabia Saudí	Rabigh II	22.727	MSF	Mar
Arabia Saudí	Shuaibah III	227.273	MSF	Mar
Arabia Saudí	Shuaibah IV	253.000	MSF	Mar
Arabia Saudí	Tabuk I	116.636	MSF	Mar
Bahrain	-	40.000	OI	Mar
Bahrain	Hidd II	136.200	MSF	Mar
Bahrain	Hidd III	136.200	MSF	Mar

Bahrain	Ras Abu Jarjur	13.500	OI	Mar
Barbados		11.355	(Proyecto)	Mar
Grecia	Souli	20.000	OI	Mar
Holanda	-	32.000	OI	Río
Holanda	Heemskerk	43.149	MS*	Río
Holanda	Rotterdam	24.000	CV	Mar
India	-	17.000	CV	Mar
India	Chennai	135.000	OI	Residual
India	Gujarat	18.000	MED	Mar
Kuwait	Al-Zour	180.000	MSF	Mar
Kuwait	Al-Zour	127.120	MSF	Mar
Libia	Misurata	70.000	(Proyecto)	Mar
Libia	Mlita	68.130	(Proyecto)	Mar
Libia	Sirte	40.000	MSF	Mar
Libia	Tobruk	30.000	MSF	Mar
Libia	Tripoli	250.000	OI	Mar
Malta	-	30.280	OI	Mar
Omán	-	136.000	(Proyecto)	Mar
Omán	Barqa	63.600	MSF	Mar
Omán	Barqa	190.000	MSF	Mar
Qatar	Al-Wusail	181.680	MSF	Mar
Qatar	Ras Abu Fontas	122.600	MSF	Mar
Singapur	Singapur	408.600	MSF	Mar
Túnez	Djerba	12.000	OI	Mar
Túnez	Zarzis	12.000	OI	Mar
UAE	Ajman	13.620	CV	Mar
UAE	Jebel Ali D	136.200	MSF	Mar
UAE	Jebel Dhanna	114.000	MSF	Mar
UAE	Mirfa II	113.500	MSF	Mar
UAE	Mirfa III	75.700	MSF	Mar
UAE	Taweelah A II	227.000	MSF	Mar
UAE	Taweelah B II	115.200	MSF	Mar
UAE	Taweelah C	227.100	MSF	Mar
UAE	Taweelah C II	189.250	MSF	Mar
UAE	Taweelah D	151.400	MSF	Mar
UAE	Taweelah D II	75.700	MSF	Mar
UAE	Umm Al Nar West	75.700	MSF	Mar
USA	Scottsdale, Arizona	18.925	OI	Salobre
USA	29 Palms, California	11.355	(Proyecto)	Salobre
USA	Chino Basin, California	30.280	OI	Salobre
USA	Chula Vista, California	18.925	OI	Salobre
USA	Fountain Val, California	56.775	OI	Salobre
USA	Irvine, California	25.170	OI	Salobre
USA	Long Beach, California	17.033	OI	Salobre
USA	Los Angeles, California	18.925	OI	Salobre
USA	Monterey Pen, California	11.355	OI	Salobre
USA	San Diego, California	113.550	MSF	Mar
USA	San Diego, California	75.700	OI	Residual
USA	San Jacinto, California	11.355	OI	Salobre

USA	Santa Cruz, California	15.140	OI	Salobre
USA	Southern, California	47.700	MED	Mar
USA	Ventura, California	17.033	OI	Mar
USA	Boca Ratón, Florida	34.065	MS	Río
USA	Collier Coun, Florida	30.280	MS	Río
USA	Delray Beach, Florida	52.990	MS	Río
USA	Fort Pierce, Florida	11.355	OI	Mar
USA	Hobart Park, Florida	22.710	MS	Salobre
USA	Largo, Florida	18.925	OI	Mar
USA	Lee County, Florida	18.925	OI	Salobre
USA	Naples, Florida	30.280	OI	Salobre
USA	Palm Springs, Florida	15.140	MS	Río
USA	Tampa Bay, Florida	189.250	OI	Mar
USA	Brownsville, Tejas	94.625	OI	Salobre
USA	Newport News, Virginia	22.710	OI	Río
USA	Newport News, Virginia	75.700	MED	Mar

* MS: Multi-stack, tecnología similar a la ED.

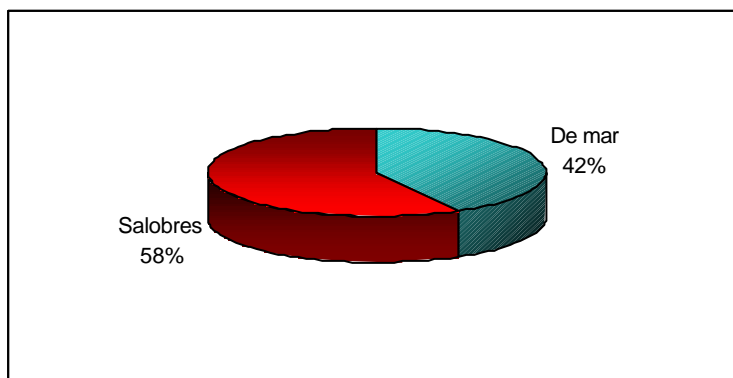
Tabla 7.4. Proyectos de instalación de unidades desaladoras en el mundo.

Fuente: Wangnick (2000).

7.6. La desalación en España

Aunque la dotación por habitante y año supera con creces el límite considerado como el mínimo que impida el desarrollo de la sociedad asentada en el territorio (2.775 m³/hab. y año, ver tabla 2.1), **el grave desequilibrio entre los recursos hídricos (motivado por la irregular pluviometría de nuestra geografía) y los consumos soportados en ciertas zonas con agricultura intensiva de regadío e infraestructura turística que además consume en la época de menores precipitaciones, justifica la instalación de plantas desaladoras.** La desalación en España queda afortunadamente reducida al Levante Español, Murcia, Andalucía, los dos archipiélagos y las ciudades del Norte de África. En dichas zonas, se puede evaluar la demanda total urbana asociada al turismo como una población equivalente de 7 millones de personas, que supone el 20% del total.

La producción total de agua desalada a finales del año 1998 se cifra en 222 Hm³/año, de los cuales alrededor del 42% corresponden a aguas marinas, y el 58% a salobres. Ello supone alrededor de un 4,9% del consumo total para abastecimiento urbano (alrededor de 2 millones de personas), y un 0,7% de todos los usos consuntivos del agua.



Gráfica 7.4. Distribución porcentual de la desalación en cuanto al tipo de aguas de aporte.

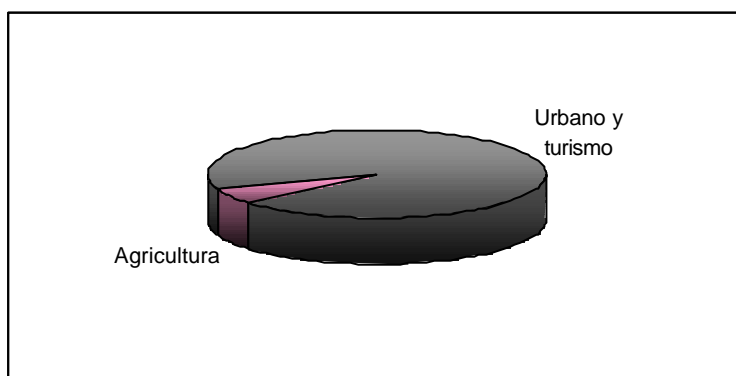
Fuente: Medina (2000).

En cuanto a la capacidad total instalada, actualmente sobrepasa los 700.000 m³/día. La distribución de los usos de esta agua se muestran en la siguiente tabla, ya que es un tanto peculiar con respecto al resto de países que se ha analizado anteriormente.

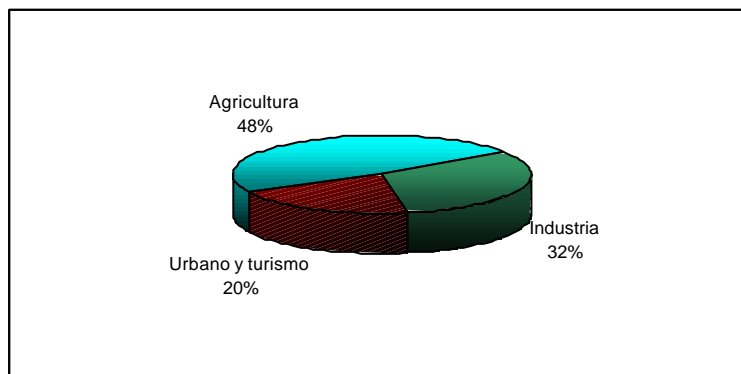
Agua	Total (hm ³ /año)	% Urbano y turismo	% Agricultura	% Industria
Mar	95,3	94,4	5,6	--
Salobre	126,57	20,4	47,6	32,0

Tabla 7.5. Agua desalada en España durante el año 1998 y sus usos.
Fuente: Torres y Medina (1999).

Con un vistazo a la tabla se ve que en España la desalación de agua salobre para la agricultura intensiva de regadío se ha extendido considerablemente a pesar del sobrecosto producido por el proceso de desalación con respecto a la obtención por otros métodos o de forma natural. **Puede decirse que prácticamente es nuestro país el único que realmente consume aguas desaladas para su utilización agrícola (un 29,55% del total)**, aunque haya países que si utilizan aguas desaladas para el riego de jardines, ante la imposibilidad de otras fuentes (Abu Dhabi –UAE-, Arabia Saudí). La rentabilidad obtenida por cierto tipo de cultivos no ha sido el freno para seguir con ellos, teniendo en cuenta además que el coste de aguas salobres desaladas es bastante inferior al del agua de mar, como veremos en el apartado correspondiente al estudio económico de la desalación. **La extensión actual aproximada regada con este tipo de aguas ronda las 9.000 ha.**



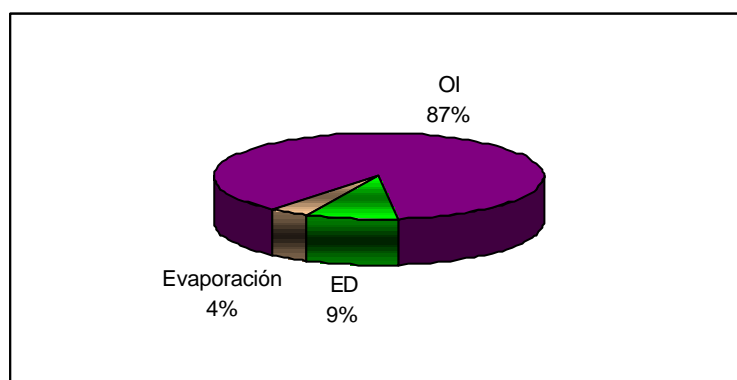
Gráfica 7.5. Distribución porcentual por sectores del agua marina desalada.
Fuente: Torres y Medina (1999).



Gráfica 7.6. Distribución porcentual por sectores de aguas salobres desaladas.
Fuente: Torres y Medina (1999).

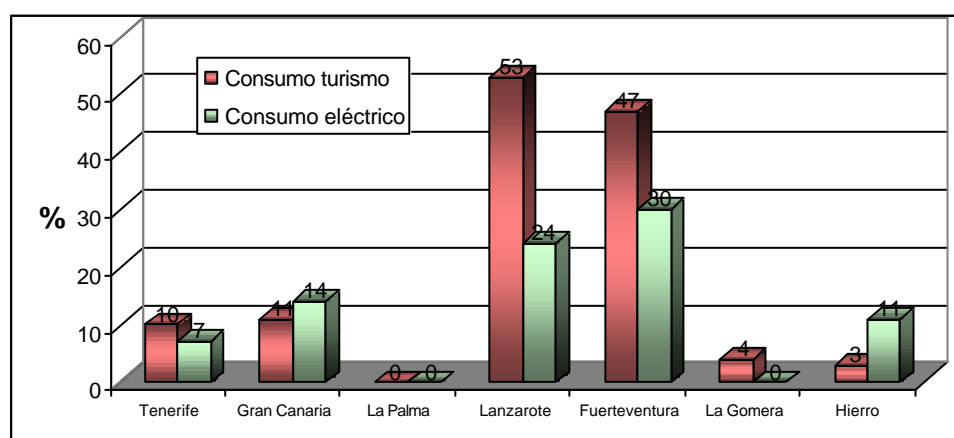
Es necesario incidir en la situación existente en dos zonas con características ligeramente diferentes al resto de zonas afectadas por la escasez de recursos. La primera de ellas es el Archipiélago Canario y la segunda la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia.

Las islas Canarias han recurrido a la desalación para obtener la mayor parte del agua que demanda principalmente la industria turística. A partir de los setenta, la sobreexplotación de los escasos recursos acuíferos de las islas estaba llegando a límites preocupantes, ello ha supuesto que islas prácticamente desérticas como Lanzarote (140 mm. de precipitación anual) y Fuerteventura se abastezcan sólo con agua desalada, y en el caso de Gran Canaria llegue al 80% del total. **El resultado de todo ello es que en las Canarias 1 millón de personas se abastecen de las 280 plantas desaladoras existentes, con una capacidad de 350.000 m³/día, 100 de ellas asociadas directamente al abastecimiento de hoteles y apartamentos.** El 92% de las plantas son de inversión privada, aunque las de naturaleza pública producen el 60% del agua desalada. En cuanto a las tecnologías utilizadas, el 87% de las plantas son de OI, el 9% de ED y el 4% de evaporación. Normalmente la ED se utiliza para aguas salobres cloruradas y/o bicarbonatadas, cosa muy común en las galerías de escorrentía de las laderas del Teide en Tenerife.



Gráfica 7.7. Distribución porcentual (por número de plantas) de los métodos de desalación radicados en Canarias.

Fuente: Hernández (2000).



Gráfica 7.8. Porcentaje de consumo eléctrico debido a la desalación y porcentaje de consumo de agua turístico respecto del total en las islas del archipiélago canario.

Fuente: Hernández (2000).

Otro punto interesante a considerar de las Islas Canarias es el consumo energético derivado de la desalación en unas islas sin conexión de red eléctrica entre ellas ni con el continente

(deben ser autosuficientes). En islas como Lanzarote, con un 50% de consumo hídrico debido al turismo, dicho gasto eléctrico supone el 25% del total, y en el caso de Fuerteventura llega hasta el 30%. La gráfica anterior muestra el tanto por ciento de consumo eléctrico (una parte importante de ella es energía renovable) en las islas del archipiélago, así como el porcentaje de consumo debido a las instalaciones hoteleras y apartamentos de sus playas.

El segundo caso digno de mencionar es la Comunidad Autónoma Murciana, comunidad estructuralmente deficitaria (en 460 hm³ anuales según el PHN) debido al consumo agrícola derivado de sus explotaciones de regadío intensivo. **La sobreexplotación de los acuíferos para el regadío los ha convertido en aguas salobres de difícil uso agrícola, con lo que ha sido necesario instalar gran cantidad de pequeñas desaladoras de agua salobre de mínimo mantenimiento y gestión de los propios agricultores.** La oferta de agua desalada de agua de mar se concentra en grandes instalaciones en poblaciones costeras (Mazarrón, Cartagena) (Cánovas, 2000).

Resumiendo, existen en la actualidad o están próximas a su funcionamiento un total de 90 plantas, con una capacidad total de 149.000 m³/día y una producción anual total de 40 hm³, con más o menos igual cuota de participación en cuanto al origen de las aguas (marinas o salobres).

Las siguientes tablas (se distinguen aguas marinas y salobres) muestran la localización y tecnología utilizada de las plantas españolas con una capacidad superior a 3.000 m³/día, aunque como hemos dicho anteriormente la ósmosis inversa es predominante en nuestro ámbito. **Debe añadirse que la ampliabilidad de estas plantas, si son de OI, es muy fácil,** por lo que en la actualidad muchas de ellas probablemente tienen mayor capacidad de la expuesta en la tabla.

Nombre	Inauguración	Capacidad (m ³ /día)	Proceso
Las Palmas I	1970	30.000	MED
Las Palmas II	1980	18.000	MSF
Lanzarote II	1987	7.500	OI
Juliano Bonny	1988	4.000	OI
Las Palmas III	1989	36.000	OI
Galdar-Agaete	1989	3.500	OI
Aragua	1991	10.000	OI
Inalsa I	1990	7.500	OI
Elmasa II	1990	7.500	OI
Lanzarote III	1991	20.000	OI
Fuerteventura III	1991	4.000	OI
Ibiza I	1991	9.000	OI
Sureste I	1993	10.000	OI
Arucas-Moya I	1995	4.000	OI
Ibiza II	1996	10.000	OI
Puerto del Rosario	1996	7.000	OI
Elmasa III	1996	7.500	OI
Marbella	1997	56.000	OI
Ceuta	1997	16.000	OI
Adeje-Arona	1997	10.000	OI
Emaya	1997	4.800	OI

Bahía de Palma	1999	47.000	OI
Tenerife	1999	24.000	OI
Sureste II	1999	15.000	OI

Tabla 7.6. Instalaciones actuales de plantas desaladoras de agua marina de más de 3.000 m³/día.
Fuente: Fariñas (1999), Torres (1999).

Nombre	Inauguración	Capacidad (m ³ /día)	Proceso
Courtaulds	1974	5.000	OI
Enfersa	1983	3.600	OI
Maspalomas	1987	10.000	EDR
Denia	1991	16.000	OI
Hernández Zamora	1991	3.400	OI
Seat Martorell	1992	10.500	OI
Gesturcal	1992	4.000	OI
Repsol Tarragona	1993	14.400	OI
Repsol Cartagena	1993	7.200	OI
Cruzcampo	1993	3.800	OI
Son Tugores	1995	35.000	OI
Bajo Almanzora	1996	30.000	OI
Mazarrón	1996	9.000	OI
Aguadulce	1996	3.100	OI
C. R. Jacarilla	1997	9.000	OI
G. E. Plastics	1997	7.200	OI
C. R. Sto. Domingo	1997	6.930	OI
Félix Santiago	1997	3.100	OI
Campo de Dalías	1997	12.000	OI
Moncófar	1999	4.000	OI

Tabla 7.7. Instalaciones actuales de plantas desaladoras de agua salobre de más de 3.000 m³/día.
Fuente: Fariñas (1999).

La instalación de nuevas plantas desaladoras en todo la geografía española con déficit hídrico es un hecho que se produce a menudo. En la siguiente tabla se muestran algunos de los principales proyectos para un futuro no muy lejano, en el que destaca la planta de Carboneras, que es con mucho la de mayor capacidad instalada en nuestro país.

Nombre	Capacidad (m ³ /día)	Proceso	Agua
Alicante	50.000	OI	Mar
Almería	50.000	OI	Mar
Arucas-Moya II	6.000	OI	Mar
Cádiz	40.000	OI	Mar
Carboneras	120.000	OI	Mar
Cartagena	65.000	OI	Mar
Las Palmas	35.000	MED	Mar
Sevilla	40.000	OI	Salobre

Tabla 7.8. Nuevas plantas desaladoras previstas de ejecución inminente.
Fuente: Wangnick (2000) y elaboración propia.

7.7. Resumen

En resumen, **la instalación de plantas desaladoras en España se plantea como solución en áreas localizadas** (hasta ahora la capacidad instalada en la mayoría de ellas no es muy grande), cosa que no ocurre en otras zonas de alto déficit estructural como Oriente Medio, donde se instalan grandes plantas en zonas aisladas de los asentamientos urbanos y se construyen grandes tuberías para su transporte. **España es el país europeo más puntero en tecnologías de desalación por ósmosis inversa (de ello su masiva implantación en nuestro país), pero no en tecnologías evaporativas**, donde grandes compañías alemanas e italianas, junto con las de Extremo Oriente copan el mercado en Oriente Medio.

8. CONSIDERACIONES MEDIOAMBIENTALES

8.1 Evaluación del impacto ambiental de instalaciones desaladoras.

La legislación existente en cuanto a la necesidad de realizar una Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) para un proyecto relacionado con la desalación se puede resumir en los siguientes pasos (Martínez, 2000):

- ?? La legislación básica, en este caso el Real Decreto Ley 9/2000, viene a incrementar los supuestos sometidos a Evaluación de Impacto Ambiental. En su Anexo I de esta disposición (proyectos sometidos en todo caso a EIA), no se recogen proyectos relacionados con la desalación marina o salobre aunque sí la extracción de aguas subterráneas igual o superior a 10 hm³/año. En el anexo II, que constituyen la lista de proyectos que deben someterse a EIA cuando así lo decida el órgano ambiental, no aparecen tampoco los proyectos de desalación aunque sí los que supongan una extracción superior a los 300.000 m³/año de aguas subterráneas.
- ?? **Por lo tanto, ha de consultarse la normativa correspondiente a cada comunidad autónoma.** Si dicha comunidad tiene incluidas en su lista de EIA las plantas desaladoras (como por ejemplo la Comunidad Autónoma Murciana), y de acuerdo con la disposición Adicional Tercera del Real Decreto Ley 9/2000, correspondería realizar la EIA al órgano ambiental del Estado, es decir, el Ministerio de Medio Ambiente (MIMAM). Se establecerá un procedimiento abreviado para su realización.

8.2 Problemática medioambiental de los vertidos de salmuera.

En todo proceso desalador, tenemos una porción del agua previamente introducida que es rechazada y devuelta normalmente al reservorio original de donde se aportó el agua bruta a desalar.

El problema de estos vertidos debe tratarse cuidadosamente dependiendo del tipo de proceso utilizado, y de las características del reservorio donde se tira la salmuera de rechazo. En este apartado se va a analizar dos situaciones especialmente interesantes: la situación en el Golfo Pérsico y la española (en el Mar Mediterráneo).

Si hablamos de aguas desaladas del Golfo Pérsico, con una media de 45.000 ppm de TDS, la salmuera rechazada devuelta al mar (BD) en plantas MSF suele tener una concentración de 60-65.000 ppm y un caudal menor de la mitad que el aportado, teniendo en cuenta que tan sólo la décima parte del agua bruta introducida se desala y que existe recirculación del agua bruta (ver sección 4.1 para el caso de las MSF). El resto de caudal que equilibra el balance de masa de la instalación es el agua bruta precalentada en la sección de rechazo (CW en la figura 1), que no es concentrada respecto a la inicial. **En resumen, la conjunción de la contaminación térmica (tanto el BD como el CW de la gran cantidad de plantas desaladoras MSF se tiran con 3-4 y 7-10° C de calentamiento con respecto al Golfo) y contaminación química de los vertidos de salmuera y de petróleo de la zona (el 20% de la producción mundial discurre por esta ruta) en este mar cerrado de tan sólo 35 metros de profundidad media, 239.000 km² de extensión y un tiempo de residencia medio de 2-5 años (la circulación a través del estrecho de Ormuz es bastante dificultosa), hace pensar que el Golfo Pérsico va a tener serios problemas medioambientales en un futuro próximo.** (Abu Qdais, 1999). Ello se

agrava por sus especiales condiciones: una temperatura media de 18-35° C, un altísimo índice de evaporación (excede en un factor de 10 el aporte de los ríos) y por lo tanto una salinidad de 36.000 a 50.000 ppm, dependiendo de la cercanía a la desembocadura de los grandes ríos que vierten en él (Tigris y Eúfrates).

Pero este no es afortunadamente el caso de España, con un inventario de plantas mucho más reducido al de Oriente Medio, donde la mayoría son plantas OI que vierten sus rechazos a mares más abiertos como el Mediterráneo o el océano Atlántico, a una temperatura prácticamente idéntica a la aportada. De todas las formas, **es necesario abordar de forma separada la desalación de aguas marinas y de aguas salobres, porque son dos problemáticas completamente diferentes ya que afectan a medios naturales distintos.**

8.2.1. Aguas salobres

Las plantas desaladoras de agua salobre generalmente se nutren de acuíferos cuya calidad se ha ido degradando paulatinamente con su extracción para el riego. En general, la degradación de los acuíferos se debe al uso de fertilizantes nitrogenados y otros agentes agrícolas, infiltración de aguas residuales, disolución de terrenos salinizados, intercomunicación de diferentes acuíferos estratificados e incluso la intrusión marina en los acuíferos cercanos al mar. Desalar agua salobre permite a este tipo de aguas su uso agrícola e incluso humano, en general aguas de 4.000 ppm devuelven el rechazo en torno a los 16.500 ppm considerando una conversión media (Y) del 75% en este tipo de plantas. A continuación se describen las diferentes soluciones aportadas actualmente para la evacuación de este tipo de salmueras (Latorre, 2000), haciendo una valoración cualitativa de cada una de ellas:

- ?? Vertido directo a ramblas o cauces cercanos. Es una solución común pero poco recomendable porque puede salinizar dichos cauces y los suelos adyacentes, afectando incluso a la población asentada aguas abajo de dicho cauce.
- ?? Vertido al mar en el caso de cercanía al mismo. Debe estudiarse en cada caso ya que en este caso la salinidad es menor que la marina y puede afectar a la diversidad biológica en ese tramo costero.
- ?? Inyección en acuíferos más profundos incluso que el de aporte. Es una solución altamente peligrosa, ya que puede afectar a acuíferos cercanos y además los convierte en inservibles para su uso futuro.
- ?? Instalación de balsas de evaporación o incluso salinas (como las de Torrevieja o Santa Pola) para obtener sal. La extensión necesaria para este tipo de solución suele disuadir a los propietarios de las explotaciones, pero es de las más adecuadas aunque desaparece todo caudal posible de retorno a la cuenca hidrográfica.
- ?? Creación de colectores de vertido o “salmueroductos” que recojan los rechazos de una o varias plantas desaladoras próximas hasta el mar. **Parece la solución más aceptable, aunque con coste algo superior a otras opciones**, y además debe estudiarse el punto exacto de vertido en el mar, al igual que en el segundo punto, para no alterar las condiciones biológicas de la fauna y flora marinas.

Debe tenerse en cuenta también que excepto la segunda y última opciones, los vertidos de salmuera retornan finalmente a la cuenca hidrográfica de donde se extrajo el agua salobre, con lo que deberían rechazarse a priori.

8.2.2. Aguas marinas

Respecto al vertido de rechazos de agua marina, una planta de conversión media del 45% y un agua marina de aporte de 38.000 ppm debe verter al mar una salmuera con alrededor de 70.000 ppm. **Se sabe que la fauna marina no queda afectada significativamente por la existencia de emisarios de esta agua** (gracias por supuesto a su movilidad), incluso hay experiencias de una mayor cuota de captura pesquera alrededor de desagües de plantas desaladoras. **Sin embargo hay que tratar con especial atención la flora marina existente en el litoral mediterráneo**, en concreto las praderas de “Posidonia Oceánica”, una fanerógama marina que recubre los fondos con un calado de 5 a 30 metros (dependiendo de la transparencia del agua y la granulometría de los fondos) de extraordinaria productividad y diversidad, pero a su vez de extraordinaria rareza. Tanto es así que aparece en la lista de hábitats naturales de interés comunitario que es preciso proteger (Directiva del Consejo 92/43/CEE del 21 de Mayo de 1992). Aunque no se sabe a ciencia cierta el efecto de los vertidos de salmuera en las praderas de Posidonia Oceánica, lo que sí es cierto es que es necesario realizar una serie de medidas de protección para no dañar dichas praderas, con una capacidad de producción de oxígeno incluso mayor que la selva amazónica.

De entre las posibilidades de actuación en cuanto a la evacuación de la salmuera al mar, no hay soluciones concluyentes, sobre todo en cuanto a la cuantificación del efecto de cada una de ellas sobre la flora marina, se muestran aquí las soluciones comúnmente adoptadas:

- ?? Vertido directo al mar a través de ramblas y cauces. **Esta posibilidad puede ser la más adecuada en zonas de corrientes y vientos considerables**, ya que en zonas cercanas a la costa los oleajes y la mayor temperatura de las aguas favorecen la mayor dilución de las descargas de salmuera.
- ?? Construcción de emisarios submarinos que sobrepasen la pradera de Posidonia. No está muy claro si el efecto de la obra necesaria para construir el emisario va a ser más perjudicial para la pradera que su vertido en la costa. Además, se han realizado estudios sobre la dilución de los emisarios submarinos construidos específicamente para una mejor mezcla con el agua marina, pero la experiencia de laboratorio ha demostrado grandes diferencias con respecto a la dilución real en los fondos marinos, debido fundamentalmente al efecto de las corrientes marinas, oleaje, condiciones del fondo, etc., difícilmente reproducibles en condiciones de laboratorio (Ruiz, 2000).
- ?? Utilización de emisarios ya existentes de aguas residuales. Se sabe que las aguas residuales urbanas (ARU) tienen un efecto más pernicioso para la flora marina que los rechazos de plantas desaladoras. Por lo tanto un mal menor puede ser verter dichos rechazos a colectores residuales o lugares anejos a ellos, en zonas ya previamente degradadas por el efecto de las ARU.

8.3. Otros vertidos.

Aunque no tienen la misma importancia que los vertidos de salmuera, gracias a la ínfima relación de volúmenes evacuados (la suma total de ellos no supone más del 1% del total), existen otro tipo de vertidos en una planta desaladora por OI, que se resumen aquí:

- ?? Agua de lavado de los filtros de arena: constituyen un agua muy cargada de arenas y materia orgánica, en general se vierte normalmente una vez al día.
- ?? Productos de limpieza de las membranas. Su frecuencia depende mucho del tipo de membrana, pero en general al menos se realiza una vez al año con detergentes de naturaleza biodegradable.

?? Aditivos provenientes del pre/post-tratamiento del agua bruta/producto. Normalmente no deben aparecer en los vertidos ya que se utilizan para incluirse en el agua para consumo (sólo en caso de fugas), pero en todo caso es posible encontrar en menor medida floculantes, antiincrustantes, anticorrosivos y biocidas en las aguas de rechazo. Su carácter poco degradable hace que deban ser controlados periódicamente.

8.4. Otros impactos y consideraciones finales

Las plantas desaladoras consumen gran cantidad de energía. Tanto si consumen energía eléctrica como si extraen energía térmica en el caso de una planta dual, **las emisiones de CO₂, NO_x y otros componentes derivados de la combustión de estas centrales térmicas debe asociarse a la planta desaladora.** Sólo en el caso de que la energía eléctrica utilizada en procesos desaladores (OI, ED, CV, bombeo de las MSF y MED) sea de origen renovable, no debe asignarse este impacto ambiental al proceso desalador.

Finalmente, **también hay que destacar la contaminación acústica de una planta desaladora,** que no suele mencionarse debido a su relativa lejanía de poblaciones y zonas habitadas. Pero debe tenerse en cuenta sobre todo en pequeñas islas o zonas con muy escaso terreno edificable, situación desgraciadamente muy común en el Levante Español y nuestros archipiélagos.

Resumiendo, **el impacto ambiental derivado de la instalación de una planta desaladora tiene varias afecciones destacables: vertido de salmueras, emisiones, ruidos.** Es de otra naturaleza que una gran obra hidráulica, y por lo tanto difícilmente comparables.

9. COSTES DE LA DESALACIÓN.

Quizás sea este el apartado de mayor relevancia de este informe, ya que es el que permite una comparación directa con la alternativa que propone el PHN: un trasvase hidrológico intercuenas.

9.1. Consideraciones generales.

Primero debe quedar muy claro que son dos alternativas de naturaleza diferente y por lo tanto nunca pueden ser económicamente comparables en sentido estricto. **Un trasvase es una obra de naturaleza permanente y como tal debe considerarse, aunque la amortización de las obras siga unos criterios especificados para este tipo de obras.** Pero ello incide en el tipo de interés aplicable al proyecto de inversión; así el PHN aplica una amortización a la obra hidráulica necesaria de 50 años y un interés medio del 4%, una tasa de interés que difícilmente conseguiría en la actualidad un inversor privado para instalar una planta desaladora de tamaño medio-pequeño. La amortización de una planta desaladora se cifra por término medio en 15 años, con lo que el análisis económico debería replantearse de nuevo tras ese período, ya que la tecnología en procesos de desalación habrá evolucionado positivamente en el sentido de un abaratamiento de los costes de producción del agua desalada.

Otro factor que hay que tener en cuenta es la disponibilidad de ambos recursos. El PHN realiza su análisis económico de rentabilidad suponiendo que todos los años es posible derivar del Ebro 1.000 hm³. En el caso de que ello no sea posible en alguna campaña, los costes calculados por el MIMAM serían ostensiblemente superiores a los previstos y la rentabilidad anunciada no sería ni mucho menos la estimada. **Pero una planta desaladora que se proyecte para su puesta en marcha sólo ante problemas coyunturales (sequía, contaminación de otros recursos, etc.) también tiene unos costes mucho mayores a los de una planta de operación continua, que la lleva irremisiblemente al cierre de sus instalaciones si no existe una financiación estatal que la mantenga.** La experiencia en España de este tipo de plantas, que han dejado de ser rentables frente a la competencia de recursos externos o naturales mucho más baratos, puede servir de ejemplo a esta aseveración.

Finalmente, se podría reseñar que **las plantas desaladoras aunque sean financiadas por el Gobierno están gestionadas por empresas privadas que incorporan el beneficio industrial de la explotación de las mismas**, por lo que cuentan con un coste adicional con respecto a un hipotético trasvase.

Por lo tanto, queda claro que el análisis económico puro no debe ser el único condicionante para adoptar una decisión de las alternativas a considerar, sino que debe complementarse con otros condicionantes ecológicos y sociales. No obstante, el análisis económico intenta ser lo más imparcial posible, partiendo de datos de elaboración propia, empresas adjudicatarias y organismos gubernamentales y bibliografía incluida en el anejo correspondiente.

El análisis va a diferenciar la desalación de aguas marinas y de aguas salobres, ya que la instalación necesaria y los costes de operación son bastante inferiores en el segundo caso, amén de la existencia de soluciones tecnológicas diferentes a cada tipo de agua.

9.2. Costes de desalación de agua de mar.

Hay dos tecnologías claramente diferenciadas para la producción de agua desalada a partir de agua del mar: destilación y ósmosis inversa. Es necesario tratarlas independientemente ya que la asignación de costes para el primer caso exige un tratamiento específico, ya que los procesos de destilación van integrados en una planta dual con otro producto bien diferenciado: la electricidad.

9.2.1 Destilación en plantas duales.

Aunque no sea usual en nuestro país, la tabla 13 nos muestra la gran cantidad de plantas duales instaladas en Oriente Medio para suplir sus necesidades de agua y electricidad. **La mayoría de ellas son una o varias unidades MSF acopladas con una o varias turbinas de vapor, turbinas de gas con caldera de recuperación para generar el vapor, o los nuevos ciclos combinados de turbina de gas y de vapor acopladas con otra caldera de recuperación.** Los diferentes esquemas posibles de acoplamiento de plantas duales de producción eléctrica y de agua pueden verse en la figura 21, aunque las unidades MSF pueden sustituirse fácilmente por unidades MED. La compresión de vapor es una tecnología de evaporación de consumo eléctrico con baja incidencia en el mercado, por lo que sólo se estudiará a título informativo.

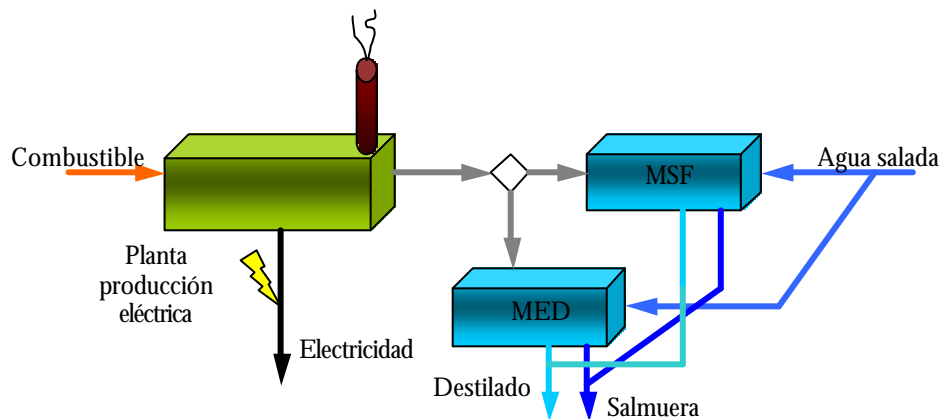


Figura 9.1. Disposiciones posibles de plantas duales de producción de agua y electricidad.
Fuente: Elaboración propia.

9.2.1.1 Coste del combustible.

La asignación de costes de producción del agua y la energía es bastante problemática, sobre todo cuando de forma interesada se intenta cargar los costes solamente a uno de los productos. Hay diferentes métodos de contabilidad de costes utilizados para asignar que parte de ciertos costes comunes (El-Nashar, 1999) (léase la energía primaria necesaria para producir ambos productos ó los costes generales de administración) debe asignarse a cada uno de ellos. Así por ejemplo, **una metodología ampliamente utilizada para asignar el coste del combustible a cada producto es el llamado “Método de los kilowatios perdidos” en la cual se calcula el coste de combustible imputable al agua, al cociente de la diferencia de producción eléctrica adicional respecto a la total que podríamos conseguir en el caso de que las unidades MSF no estuvieran operativas.** La siguiente fórmula (Kronenberg y Dvornikov, 1999) muestra claramente la forma de calcular dicho coste:

$$CC_a = \frac{(W_1 - W_2) \cdot CE_1}{D} C_c \quad (9.1)$$

donde CC_a es el coste de combustible asociado al agua (ptas/m^3), W_1 y W_2 son respectivamente las producciones eléctricas de planta (kW) cuando está desacoplada y no lo está a la MSF, CE_1 es el consumo específico de la planta de potencia en condiciones de desacoplamiento (una medida de su eficiencia energética, medida generalmente en kcal/kWh), D es la producción de destilado ($\text{m}^3/\text{día}$), y C_c es el coste económico del combustible (ptas/kWh).

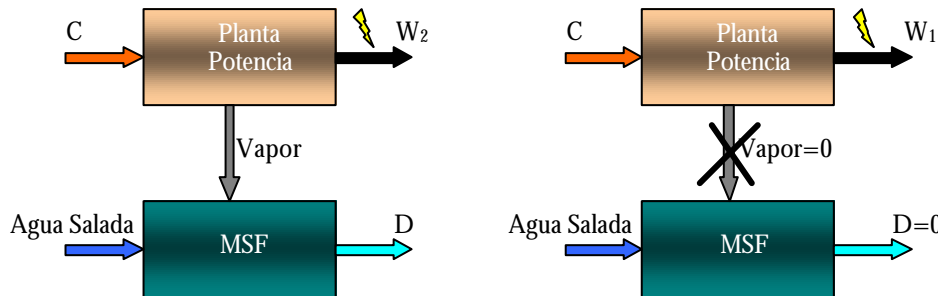


Figura 9.2. Esquema de producción individual y conjunta de electricidad/agua en una planta dual. Fuente: Elaboración propia.

A modo de ejemplo, una gran planta de cogeneración puede extraer vapor para una MSF dejando de producir en bornes del alternador (W_1-W_2) 30 MW. Si su rendimiento sólo produciendo electricidad es tal que se necesitan 2.500 kcal de combustible para generar 1 kWh eléctrico ($CE_1=2.500 \text{ kcal}/\text{kWh}$), la destilación de agua dulce alcanzable es de $50.000 \text{ m}^3/\text{día}$ y el coste del combustible es de 4 \$/GJ (precios de gas natural), el coste del combustible CC_a es de 0.6 \$/ m^3 , o lo que es lo mismo, algo más de 100 ptas/ m^3 .

Este método es una aproximación bastante plausible para estimar los costes derivados del combustible, pero no tiene en cuenta el rendimiento de la planta de potencia en función de la carga eléctrica requerida para ella, que puede variar considerablemente (hasta un 20-25%) y en sentido negativo, ya que **las plantas duales se diseñan para el máximo rendimiento al 100% del modo de operación en cogeneración, es decir, produciendo el máximo posible de agua y electricidad**. El método más fino, que permite además hallar de forma instantánea los costes de todos los flujos internos de planta, además de los del agua y la energía, son los métodos de contabilidad exergética, basados en el 2º Principio de la Termodinámica (Uche, 2000). En ellos se define una función productiva para todos los equipos de la instalación que permite la redistribución de los recursos de entrada a la planta hasta su salida, donde se han transformado en productos que van acumulando las irreversibilidades de los diversos procesos de producción, y por lo tanto incrementan el coste inicial del combustible. Lo más llamativo de estos métodos es que permiten ver las grandes diferencias obtenidas en los costes de producción del agua y la energía en función del modo de operación de la planta. La siguiente tabla muestra el consumo energético primario necesario para desalar agua de este tipo de plantas, en función de su modo de operación.

Modo operación	Cogeneración 100% carga	Cogeneración 50% carga	Solo 100% producción agua*
Consumo (kJ/kg)	? 220	? 290	? 410

* Se estrangula vapor vivo de la caldera con una estación reductora de presión (ERP).
 Tabla 9.1. Consumo energético primario en la producción de plantas duales MSF orientativo en función del modo de operación.

Fuente: Afgan (1999) y elaboración propia.

Lo que sí es muy claro que el tipo de combustible incide directamente en el coste del agua asociado, en una época en la que los combustibles primarios están alcanzando precios realmente prohibitivos. La siguiente tabla muestra el coste del combustible para tecnologías MSF y MED en función del combustible, a precios actuales del mercado internacional. El GOR típico para ambas plantas, que recordemos es una medida de la productividad de la planta desaladora con respecto al vapor consumido (ver anexo 1), es de 8-12 y 12-16 respectivamente. Hay que tener en cuenta que la tecnología de las plantas de generación eléctrica puede variar sustancialmente en función del combustible utilizado, pero aquí consideramos una caldera que pudiera soportar la alimentación de todos combustibles.

Combustible	Precio (\$/GJ)	MSF	MED
Gas natural	4,5	155-232	116-155
Petróleo	3,8	131-196	98-131
Carbón	1,2	41-62	31-41

Tabla 9.2. Coste del combustible para desalación de agua de mar (ptas/m³) en función de su naturaleza.

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede comprobar, con los precios internacionales actuales sólo los países productores de combustibles fósiles pueden producir agua desalada de esta forma, a no ser que se consuma carbón, recurso que suele localizarse en zonas húmedas sin problemas de abastecimiento de agua.

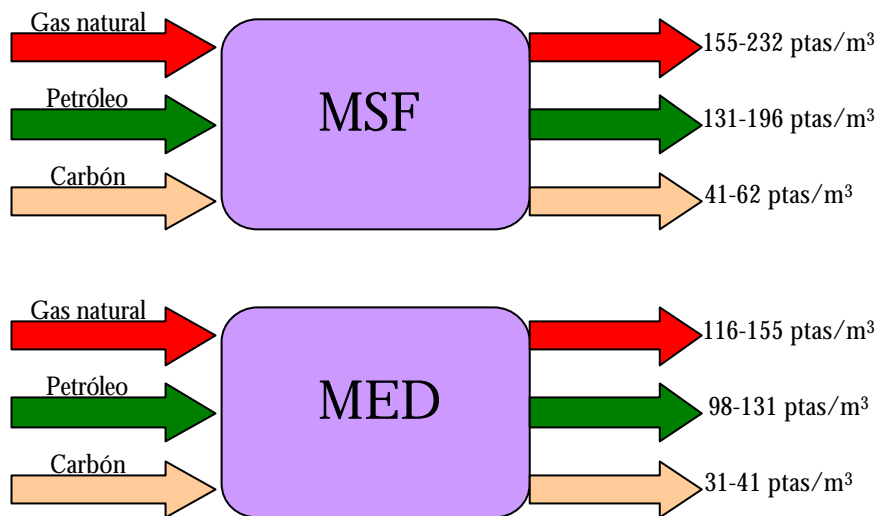


Figura 9.3. Costes totales del agua desalada con tecnologías evaporativas consumiendo carbón en la planta dual.

Fuente: Elaboración propia.

9.2.1.2 Consumo eléctrico.

La tecnología MED y MSF consume adicionalmente energía eléctrica para la circulación de los flujos de alimentación, salmuera, destilado y retorno del condensado. Las plantas MSF necesitan una bomba adicional del recirculado de salmuera, que incrementan su consumo ostensiblemente con respecto a la tecnología MED. La siguiente tabla muestra el consumo específico y el coste económico asociado a este consumo.

Tecnología evaporación	Consumo específico (kWh/m ³)	Coste (ptas/m ³)
MSF	3.5-4.0	21-24
MED-TVC	1.5-2.0	9-12
CV	9-11	72-88

Tabla 9.3. Coste del consumo eléctrico de las plantas MSF, MED y CV.
Fuente: Elaboración propia.

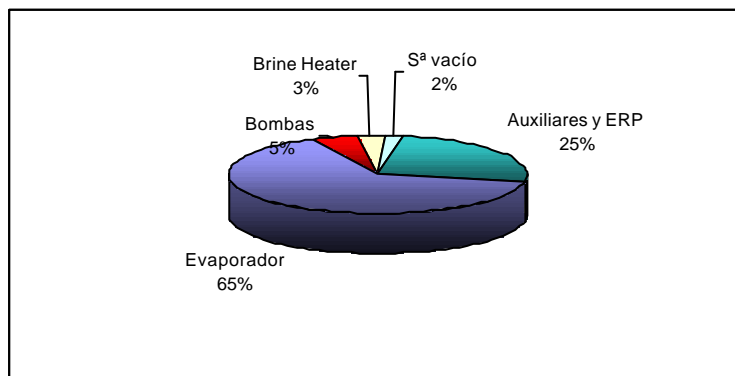
Se ha incluido aquí la tecnología CV, que consume energía eléctrica solamente para su compresor volumétrico y las bombas de alimentación y de recogida del rechazo y del destilado. Hay que reseñar que **el coste del kWh necesario para las tecnologías MSF y MED es menor que el de las tecnologías CV, ya que la electricidad se obtiene de la misma planta dual y no es necesario comprarla a la compañía eléctrica correspondiente, a precio siempre mayor que el de la generación pura.** El coste del kWh por convención se ha tomado a 6 y 8 ptas. para electricidad obtenida en la planta o tomada de la red, teniendo en cuenta que este consumo supone muy poco peso respecto del coste total en estas plantas de poca implantación en España.

9.2.1.3. Inversión necesaria y amortización.

La inversión necesaria para este tipo de plantas ha ido descendiendo poco a poco, con la inclusión de nuevos materiales resistentes a la corrosión no tan caros como los aceros inoxidables o las aleaciones de titanio. Los precios por m³/día de capacidad instalada dependen lógicamente del tamaño de planta, pero pueden resumirse en la siguiente tabla.

Tecnología evaporación	Inversión (ptas/m ³ /día)	Coste amortización (ptas/m ³)
MSF	180.000-280.000	48-74
MED-TVC	130.000-180.000	35-48
CV	170.000-250.000	45-66

Tabla 9.4. Precio por m³/día de capacidad instalada de las tecnologías evaporativas y coste de amortización de dicha inversión.
Fuente: Watermark (2000) y elaboración propia.



Gráfica 9.1. Distribución porcentual del coste de inversión de los diferentes equipos de una planta desaladora térmica (MSF).
Fuente: Elaboración propia.

De la inversión global, el coste del evaporador supone alrededor del 65% del total, las bombas de circulación el 5%, el condensador de vapor proveniente de la planta de potencia el 3%, el sistema de vacío el 2%, y los sistemas auxiliares y de control el 25% restante,

incluyendo la estación reductora de presión ERP de vapor vivo para proporcionar vapor en condiciones óptimas a la MSF en caso de parada de la turbina de vapor. El coste del terreno suele ser despreciable en el cómputo final al tratarse de instalaciones sitas en terreno desértico.

En la tabla también se muestra el coste de la pertinente amortización de la inversión. **Se considera una vida útil de la instalación de 20 años, con un 5% de tasa de interés medio** y una operación anual de 300 días al año.

9.2.1.4. Otros costes.

Los costes de mantenimiento y mano de obra, y productos químicos utilizados como aditivo para evitar la formación de costras (scaling) se muestran en la siguiente tabla.

Tecnología evaporación	Coste productos químicos (ptas/m ³)	Coste mano de obra y mantenimiento (ptas/m ³)
MSF	3-6	8-12
MED-TVC	3-5	7-11
CV	4-6	9-14

Tabla 9.5. Coste por m³ del OyM y productos químicos de las tecnologías evaporativas.
Fuente: Elaboración propia.

9.2.1.5. Coste total y conclusiones.

En la siguiente tabla se muestra el coste total de las tecnologías de evaporación, en el caso de consumir carbón como energía primaria, que como hemos visto es la única solución rentable frente a otro tipo de tecnologías. Aunque no sea la fuente de energía de los países de la OPEP, podría tomarse como dato orientativo para sus costes, ya que la contabilidad de sus recursos propios no se puede considerar a precios de mercado internacional.

Tecnología evaporación	Coste total (ptas/m ³)
MSF	121-178
MED-TVC	85-117
CV	130-174

Tabla 9.6. Coste total por m³ de las tecnologías evaporativas actuales consumiendo carbón.
Fuente: Elaboración propia.

En consecuencia, la tecnología MED es la más barata, aunque la capacidad de este tipo de unidades no llegue a la de las unidades MSF. La tecnología CV queda claramente en desventaja con otras tecnologías de menor consumo eléctrico e inversión como la ósmosis inversa que veremos posteriormente.

En España, la planta de producción eléctrica de Carboneras produce agua desalada con una pequeña planta MSF acoplada a ella (2.200 m³/día). El precio de venta acordado es de 60 ptas/m³, por lo que según los valores estimados aquí la planta térmica está perdiendo dinero con la venta de agua. Este caso muestra una mala asignación de costes para el agua, aunque es justo decir que la unidad MSF acoplada a la central térmica no debe considerarse estrictamente como una planta dual, ya que su capacidad de destilado es muy baja en comparación a la potencia nominal de la central (la unidad MSF se incluyó para proveer agua para el ciclo de vapor a la planta térmica).

Finalmente, reseñar que **las plantas duales permiten la flexibilidad de instalación de unidades de osmosis inversa (constituyendo sistemas híbridos de producción de agua desalada) que en períodos de baja demanda eléctrica produzcan una cantidad adicional de agua desalada.** En Oriente Medio, dicha demanda cae hasta el 30% en invierno (allí el mayor consumo eléctrico se debe a las instalaciones de aire acondicionado para soportar su tórrido clima). El coste de instalación de unidades OI queda justificado por la producción adicional obtenida y el mantenimiento del rendimiento óptimo de la planta eléctrica, que seguiría funcionando al 100% de su carga pero sin verterla a la red eléctrica.

9.2.2. Destilación en cogeneración con venta de electricidad.

En el apartado 9.2, la producción de agua y electricidad se gestiona por dos empresas diferentes, vendiendo (y por lo tanto asumiendo sus costes) cada una de ellas sus productos a sus potenciales consumidores. Este apartado va a tratar **el caso de que una única empresa venda electricidad y agua, así puede asignarse todo el coste del combustible a la producción de agua pero lógicamente restando el dinero obtenido por la venta de la electricidad, disminuyendo considerablemente el coste del agua producida.**

El Real Decreto 2818/1998 de 23 de Diciembre regula la producción de energía eléctrica por instalaciones abastecidas por recursos o fuentes de energía renovables, residuos y cogeneración. En su capítulo 2º -ámbito de aplicación de la ley- se consideran autoproductoras (grupo a1) aquellas instalaciones que consuman un calor útil no eléctrico V para un proceso y a la vez produzcan una energía eléctrica en bornes del alternador E (kW), siempre menor de 50 MW, de tal forma que **el rendimiento eléctrico equivalente (REE)**, definido como:

$$REE = \frac{E + V}{Q} \quad (9.2)$$

con Q la energía total aportada por el combustible (tomando como base su poder calorífico inferior), sea mayor que un cierto valor dependiente de la instalación y tipo de combustible empleado. Para el caso de gas natural y turbinas de gas, este valor mínimo es del 59%. Por ejemplo, **si tenemos una instalación cogeneradora de turbina de gas que produce 18 MW eléctricos en la turbina (E), extrae 20 MW térmicos para el secado de purines (V) y necesita 50 MW de combustible primario (Q), su rendimiento eléctrico equivalente REE es del 64.8% en condiciones de diseño, y por lo tanto podría acogerse al régimen especial de cogeneración.**

Por otra parte, todo autoproductor debe consumir una parte de la electricidad generada por él mismo, dicha parte constituye el 30% de la producción en caso de instalaciones de menos de 25 MW, y un 50% para el caso de instalaciones de hasta 50 MW. Este porcentaje puede ser cubierto por cualquier instalación perteneciente a la misma empresa, por lo que no es siempre necesario consumir dicha energía en la misma planta cogeneradora.

Las instalaciones autoproductoras de este tipo pueden obtener **una retribución RET por el kWh producido** de acuerdo a la fórmula:

$$RET \text{ (ptas / kWh)} = P_m + PR \pm ER \quad (9.3)$$

donde P_m es el precio medio horario del mercado eléctrico (actualmente en torno a las 7 ptas/kW·h.), PR es la prima obtenida por el estatuto de autoproducción al menos durante 10 años, variable en función de la capacidad de la planta:

$$\begin{aligned} PR &= 3,2 && \text{ptas/kW·h si la potencia de la instalación } P \text{ es } < 10 \text{ MW} \\ PR &= 3,2 \cdot (40 - P) / 30 && \text{ptas/kW·h si } P \text{ está comprendida entre 10 y 25 MW} \\ PR &= 0 && \text{ptas/kW·h para instalaciones de más de 25 MW.} \end{aligned}$$

y ER es el complemento por energía reactiva, que puede ser positivo si la energía reactiva generada en la instalación genera un factor de potencia ($\cos\phi$) > 0.9 , y negativa en caso contrario. Para el caso anterior, el precio que obtendría la instalación de cogeneración anterior sería de 9.35 ptas/kWh, suponiendo precio del mercado horario de 7 ptas/kWh y un factor de potencia de 0.9.

Todas estas circunstancias sugieren la instalación de una unidad desaladora híbrida compuesta con un ciclo combinado de gas natural acoplado a una o varias unidades MED de baja temperatura. Esta posibilidad cumple sin problemas las especificaciones relativas al rendimiento eléctrico equivalente, gracias al rendimiento de los ciclos combinados y el flujo de calor desviado a las MED. **El porcentaje de autoconsumo puede cubrirse instalando una planta de osmosis inversa, que a la vez permitirá producir un volumen considerable de agua desalada,** en comparación con el obtenible tan sólo con la(s) unidades MED. La siguiente figura muestra el esquema propuesto:

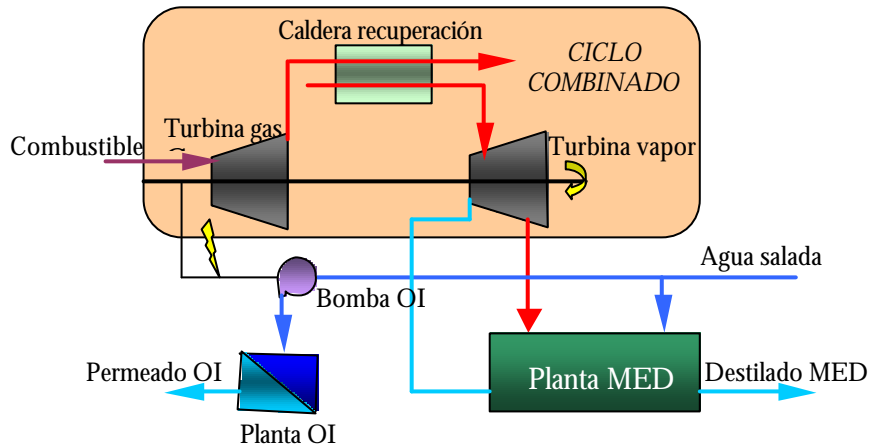
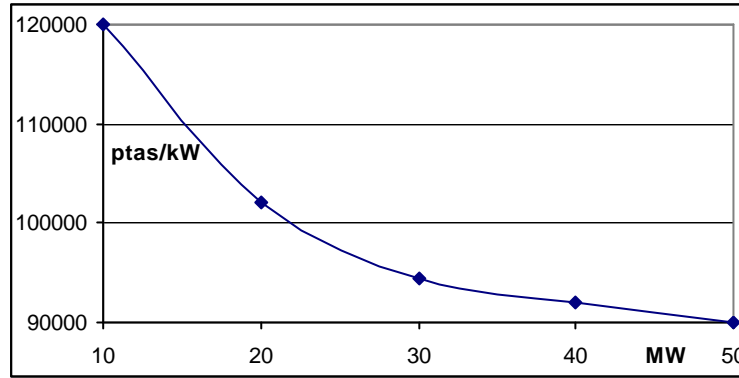


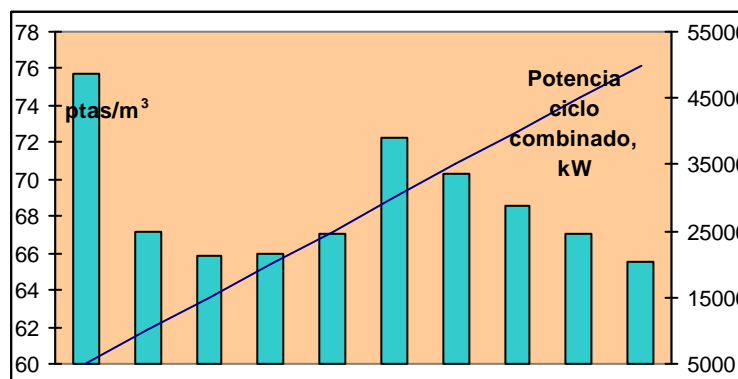
Figura 9.4. Esquema híbrido de cogeneración ciclo combinado-MED con módulos de OI.
Fuente: Elaboración propia.

En este caso, el coste del agua desalada no puede obtenerse de forma separada sino que toda la producción obtenida por los dos métodos se divide por el coste del combustible consumido menos los ingresos obtenidos por la venta de la electricidad no consumida en la planta. La reducción de los costes de instalación de pequeños ciclos combinados gracias al estatuto de cogeneración y de los módulos de OI hace considerar seriamente esta posibilidad. La gráfica 9.2 muestra los precios por kW instalado de las plantas de ciclo combinado de turbina de gas, caldera de recuperación (HRSG) y turbina de vapor (a donde irán acopladas las unidades MED). El coste de inversión de las plantas de OI en función de su capacidad se mostrará en el apartado 9.4.



Gráfica 9.2. Precio por kW instalado de instalaciones de ciclo combinado para cogeneración en función de su potencia eléctrica.
Fuente: Elaboración propia.

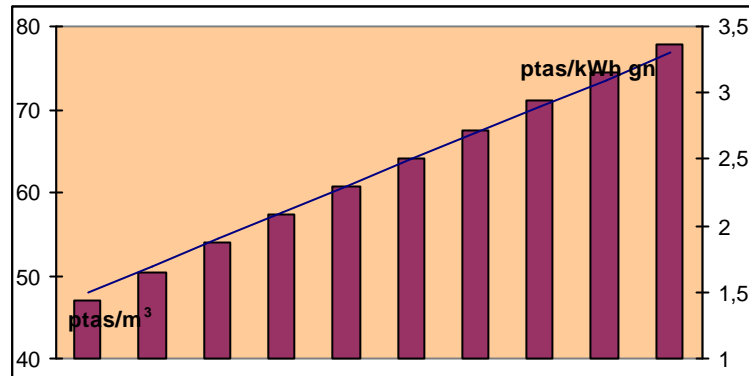
En este estudio, hay tres factores determinantes que inciden en el precio final del agua desalada producida. El primero de ellos es la dimensión del ciclo combinado: el mejor rendimiento del mismo y menor coste de instalación debe compensar el menor precio obtenido en la prima por el kWh producido y el mayor factor de autoconsumo eléctrico necesario. La gráfica muestra el efecto de la dimensión del ciclo en el coste final del agua producida, teniendo en cuenta que la tasa de interés medio considerada es del 5%, y la vida media de las instalaciones de ciclo combinado, MED y OI son de 15 años. El coste de operación, mantenimiento, reactivos químicos y restitución y lavado de membranas se evalúa en 8-11 ptas/m³ de coste fijo en todos los casos, dependiendo del tamaño de la instalación. El consumo eléctrico de la planta MED es análogo al expuesto en el apartado anterior, y el de las unidades de OI se fija en un valor claramente conservador: 4 kWh/m³. La producción de las unidades MED se fija con un valor GOR de 10, también suficientemente conservador, así como las características técnicas de la planta de ciclo combinado (rendimiento de su turbina de gas y su turbina de vapor). El precio de mercado del kWh se establece para este estudio en 7 ptas/kWh, el del gas natural para este estudio es de 3 ptas/termia.



Gráfica 9.3. Coste del agua desalada (ptas/m³, en las barras) en función de las dimensiones de la planta de ciclo combinado (línea) en disposición híbrida de cogeneración.
Fuente: Elaboración propia.

El segundo factor a considerar es el precio del combustible primario a utilizar. Actualmente, el precio del gas natural está poniendo en entredicho la rentabilidad de las instalaciones de cogeneración y su amortización casi inmediata en fechas no muy lejanas. La siguiente gráfica muestra este efecto, tomando los mismos criterios técnicos para las

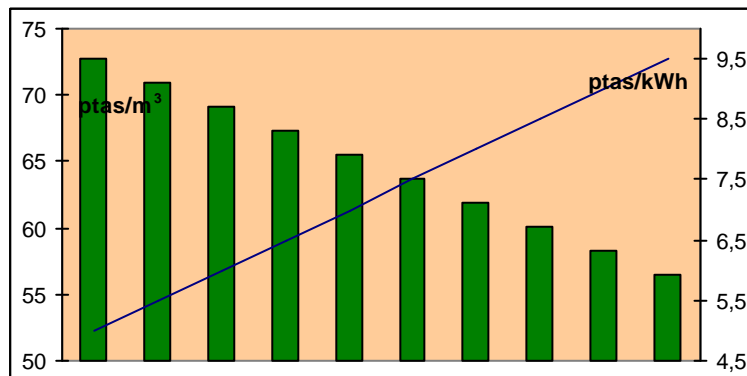
plantas, de amortización y de gastos generales, y el valor óptimo de potencia a instalar obtenido del análisis anterior. El precio medio de mercado P_m para este análisis es de 7 ptas/kWh.



Gráfica 9.4. Coste del agua desalada (en barras, ptas/m³) en función del precio del gas natural (línea) en la disposición híbrida de cogeneración.

Fuente: Elaboración propia.

El tercer factor a considerar es el precio obtenido por el kWh generado en régimen de autoconsumidor, que tiene una influencia al menos indirecta con el precio analizado anteriormente. Sin considerar un cambio en el reglamento de la ley en cuanto a las condiciones de la prima obtenible, el precio del mercado horario es también crucial para saber la rentabilidad de la instalación. La siguiente gráfica muestra el efecto de la variación de dicho precio, que puede corresponder simplemente a una situación de horas punta y valle en el mercado de oferta eléctrica. El resto de parámetros se mantiene fijo en el análisis (50 MW de producción y 3 ptas/termia de coste del gas natural).



Gráfica 9.5. Coste del agua desalada (en barras, en ptas/m³) en función del precio P_m del kWh del mercado horario (lineal) en la disposición híbrida de cogeneración.

Fuente: Elaboración propia.

En resumen, el análisis de sensibilidad muestra que es recomendable el tamaño máximo de planta cogeneradora (50 MW). Y también queda bastante claro a la vista de las dos últimas gráficas que la instalación de este tipo de plantas es muy sensible a la dinámica del mercado energético primario, y constituye una inversión mucho más arriesgada que plantas desaladoras que consumen energía eléctrica, un mercado mucho más estabilizado en España tras su liberalización. La posibilidad de realización de contratos directos con las empresas eléctricas suministradoras a precios francamente impensables unos años atrás, frena todavía más la gran rentabilidad obtenida

por este tipo de instalaciones años atrás, incluso con producción de calor para consumo en procesos de escasa o nula rentabilidad, situación muy diferente a la que se propone aquí.

9.2.3. Desalación de agua de mar con ósmosis inversa

Para el tratamiento de los costes de la desalación de agua de mar con ósmosis inversa, hay que tener en cuenta la infinidad de variables que afectan de forma considerable al coste final del agua desalada: tamaño de la instalación, condiciones físicas y geográficas de la captación de agua marina, calidad del producto requerido, sistema de recuperación de energía utilizado. El análisis realizado aquí intentará incluir rigurosamente este tipo de factores, que le dan una horquilla de valores al precio final del agua desalada.

9.2.3.1. Coste de la energía eléctrica.

En este análisis, hay que tener en cuenta dos factores: el consumo eléctrico específico de la planta de todos sus equipos (kWh/m^3) y el precio a pagar por el kWh eléctrico consumido.

Desde las primeras instalaciones, con un consumo específico que rondaba los $7 \text{ kWh}/\text{m}^3$ (Torres y Medina, 1999), el consumo de las bombas de la instalación ha ido bajando continuamente. La aparición de los sistemas de recuperación de energía ha contribuido significativamente a ello, al igual que la instalación de bombas de alta presión más eficientes y de mayor tamaño. **Por lo tanto, podemos considerar que el consumo específico actualmente varía entre los 3 y $4.5 \text{ kWh}/\text{m}^3$** , aunque en este caso el mínimo consumo puede obtenerse en plantas de pequeño tamaño con sistemas de recuperación de energía de última generación (los últimos avances hablan de $2.4 \text{ kWh}/\text{m}^3$), como los intercambiadores de presión (Wesson, 2000).

Como dato orientativo, el consumo específico proyectado en la estación desaladora de agua de mar (EDAM) de Carboneras (2 unidades con $60.000 \text{ m}^3/\text{día}$ de capacidad, y $42 \text{ hm}^3/\text{año}$ garantizados de producción) totaliza $4.26 \text{ kWh}/\text{m}^3$, de los cuales 2.93 corresponden al bombeo de alta presión, 0.4 al bombeo de agua de mar, 0.34 al de producto y 0.59 al resto de consumos auxiliares.

En cuanto al segundo factor a tener en cuenta, la liberalización del mercado para consumidores de más de 1 GWh anual o conectados a la red de alta tensión ($>1.000 \text{ V}$) ha conseguido reducir considerablemente el coste final del kWh eléctrico a consumir. No obstante, la mayoría de los pequeños productores de instalaciones desaladoras están acogidos a la tarifa 3.1 de contratación de consumo eléctrico. En Canarias y debido al gran peso de las instalaciones desaladoras con respecto a su aislada oferta de generación, se están estudiando posibilidades de indemnización a las empresas desaladoras por los continuos cortes de suministro sufridos. Resumiendo, podemos decir que el precio actual a pagar por el kWh puede variar desde las 7 a las 10 ptas/kWh. La siguiente tabla muestra el coste energético de la osmosis inversa de agua de mar teniendo en cuenta estos factores.

Consumo específico (kWh/m^3)	Precio electricidad (ptas/kWh)	Coste energía (ptas/ m^3)
3-4,5	7-10	21-45

Tabla 9.7. Consumo específico, precio de la electricidad y coste de la misma en instalaciones de OI de agua de mar.

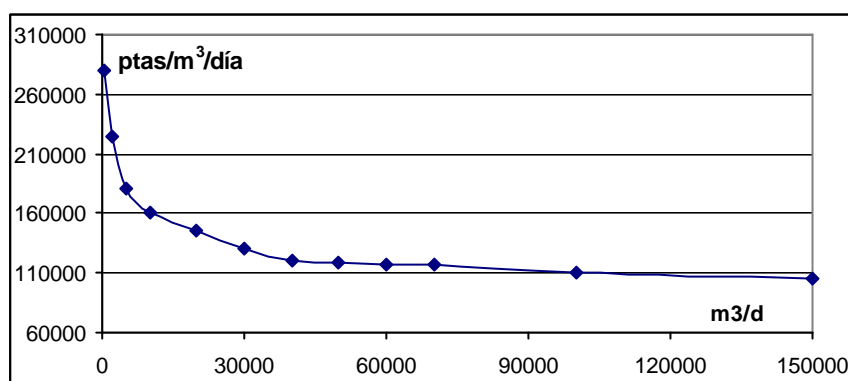
Fuente: Elaboración propia.

Para finalizar este apartado, en algunas instalaciones se suele contabilizar el consumo eléctrico derivado del bombeo hasta el sistema de distribución de alta presión, en muchos

casos supone una cota de elevación de más de 100 metros, pero ello nunca va a suponer más de 1 kWh/m³ de consumo específico adicional.

9.2.3.2. Coste de la inversión.

En este capítulo, las economías de escala son muy importantes a la hora de obtener un coste reducido de la amortización necesaria para recuperar la inversión ejecutada. También las mejoras tecnológicas surgidas constantemente y la gran competencia existente entre los fabricantes de membranas y empresas adjudicatarias a contribuido a esa rebaja de los costes de inversión. El mayor rendimiento de los equipos de bombeo puede justificar en muy poco tiempo su mayor inversión inicial necesaria, así como los porcentajes de recuperación y rechazo en las membranas. En cuanto a la inversión necesaria por m³/día dependiendo de la capacidad de planta propuesta, la siguiente gráfica muestra dicho coste.



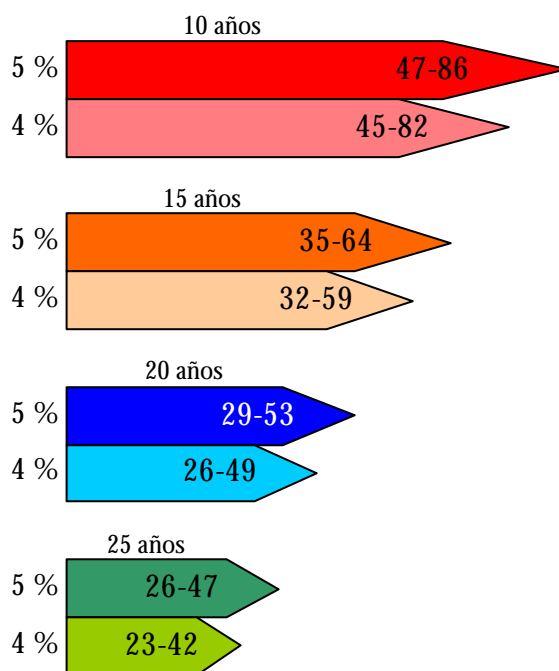
Gráfica 9.6. Coste del m³/día en función del tamaño de la planta desaladora de agua de mar por OI.
Fuente: Fariñas (1999) y elaboración propia.

En cuanto a los porcentajes representativos de cada parte de la inversión y los períodos de amortización típicos para dichas partes, en la tabla siguiente se muestra de forma esquemática:

	% Inversión respecto total	Período amortización (años)
Edificación y urbanización	8-12	20
Conducciones	12-16	15
Membranas (incluye limpieza)	25-32	8
Bombeo	15-20	12
Pretratamiento (filtros, aditivos)	8-10	15
Equipos eléctricos	9-13	15
Instrumentación y control	2-4	12
Otros (posttratamiento, repuestos)	3-5	15

Tabla 9.8. Porcentaje de inversión y período de amortización del equipamiento de una EDAM.
Fuente: Medina (2000), Fariñas (1999) y elaboración propia.

Debe quedar claro que los períodos de amortización han sido reducidos por obsolescencia tecnológica más que por su posibilidad de operación transcurrido el periodo de tiempo especificado, a la vista de la evolución de este proceso en los últimos años. No obstante, hay constancia de períodos de tiempo mayores como criterio de amortización en nuevas plantas de reciente construcción (25 años). La siguiente tabla muestra el coste de amortización de las EDAM en función del período medio estimado, con una tasa de interés estudiada del 4 y del 5%, consideradas las más realistas para una inversión actual.



Gráfica 9.7. Coste de amortización de las EDAM (ptas/m³) dependiendo del período medio de amortización de la misma, tasa de interés y tamaño de la instalación.

Fuente: Elaboración propia.

9.2.3.3. Coste del personal y mantenimiento.

El tamaño de planta vuelve a ser crucial a la hora de calcular este tipo de costes. Las pequeñas instalaciones de tipo turístico suelen funcionar sin apenas mantenimiento o con el mismo personal dedicado a otras actividades dentro del complejo turístico. Además existe otro factor adicional que incrementa la variabilidad de este coste: el carácter estacional de este tipo de plantas afecta directamente al coste de personal asociado. Conforme la planta va adquiriendo capacidad, empieza a ser necesario mantener personal fijo en la instalación, con ayuda especializada en caso de situaciones de avería. Cuando la planta tiene una capacidad considerable (> 30.000 m³/día) es necesaria una plantilla mínima de 20 personas para su gestión y mantenimiento que permita una producción continuada y sin mermas.

Teniendo en cuenta todos estos condicionantes, el coste medio asociado al personal y mantenimiento de la planta puede estimarse en 8-17 ptas/m³.

9.2.3.4. Coste de aditivos químicos.

Los reactivos químicos utilizados en los diversos procesos realizados en una EDAM dependen fundamentalmente de la calidad del agua bruta a tratar, y también de la calidad del producto requerida. La siguiente tabla contiene los principales reactivos (no se incluye

la dosificación) utilizados en las fases de pretratamiento, posttratamiento y lavado de membranas.

Fase de proceso	Producto	Función
Pretratamiento	Hipoclorito sódico	Desinfección
	Coagulantes	Apoyo en la filtración
	Acido sulfúrico	Regulación del pH
	Polielectrolitos	Floculación
	Dispersantes	Control precipitación
	Bisulfitos	Eliminación cloro
Limpieza membranas	Diversos	Lavado químico
Posttratamiento	Hidróxido cálcico	Control pH y acidificación
	Anhidrido carbónico	Carbonatación
	Hipoclorito sódico	Desinfección

Tabla 9.9. Reactivos consumidos en diversos procesos en una EDAM.

Fuente: Fariñas (1999) y Medina (2000).

El coste repercutible al agua desalada por este concepto se puede cifrar en torno a las 3-9 ptas/m³, teniendo en cuenta la gran influencia de la calidad del agua bruta aportada a este coste. **Generalmente las pequeñas instalaciones no suelen tener un pretratamiento y posttratamiento tan completo como el expuesto**, por lo que en este caso este coste suele ser directamente proporcional al tamaño de planta.

9.2.3.5. Coste de reposición de membranas y arenas.

Este es un coste no imputable a tecnologías de evaporación. Suele ser muy variable, dependiendo de las frecuencias de lavado y del control de operación de la planta, incluso hay plantas que con numerosos lavados no suelen reemplazarlas. Normalmente los fabricantes dan una garantía de un porcentaje de reposición típico para una duración determinada, si el porcentaje es mayor del de garantía la reposición corre a cuenta del fabricante, y a cuenta del operador en caso contrario. El coste de reposición de membranas, puede evaluarse de 2 a 6 ptas/m³.

También debe mencionarse la reposición de la arena de los filtros perdida con los lavados periódicos, aunque ésta tiene una periodicidad de 7 a 10 años.

9.2.3.6. Coste total del agua en una EDAM y conclusiones.

Teniendo en cuenta que el coste final del agua desalada depende fuertemente como hemos visto en los apartados del tamaño y calidad del agua aportada y a entregar, recopilando los diversos conceptos de costes asociados podemos analizar el coste final del agua desalada en una EDAM. **Tomando como criterio de amortización 20 años y una tasa de interés del 5%, estos costes varían entre 63 y 130 ptas/m³ en una EDAM.**

Los valores de los costes mínimos calculados coinciden plenamente con los datos de explotación de grandes plantas de desalación con tecnología actual: **la EDAM Bahía de Palma, ampliada actualmente a 54.000 m³/día tiene unos costes de explotación de 62 ptas/m³ (Sanz, 2000). El gobierno canario oferta el precio del agua desalada a 82 ptas/m³, de ellos descontando el beneficio industrial el coste real de explotación para un inversor está en torno a las 65 ptas/m³ (Hernández, 2000). La nueva planta de Carboneras, con 120.000 m³/día de capacidad ampliables hasta los 240.000 m³/día, el precio que se pagará a la empresa explotadora es de 60 ptas/m³.**

9.3. Costes de desalación de aguas salobres.

La desalación de aguas salobres soporta unos costes muy inferiores a los necesarios para desalar agua de mar. Sin embargo, sólo es económicamente rentable utilizando tecnologías de membrana, ya que si se utilizan tecnologías evaporativas el gasto energético y de inversión es idéntico al de la desalación de agua de mar.

En este apartado sólo se van a analizar los costes de explotación de la desalación de aguas salobres, aunque como se ha expuesto en el apartado 8, la problemática medioambiental asociada con los vertidos de rechazo de aguas salobres debe tenerse seriamente en cuenta. La construcción de salmueroductos de evacuación de dichos rechazos podría aumentar peligrosamente el coste del agua salobre desalada, hasta el punto de perder la rentabilidad de la explotación de la desaladora.

9.3.1. Desalación por ósmosis inversa.

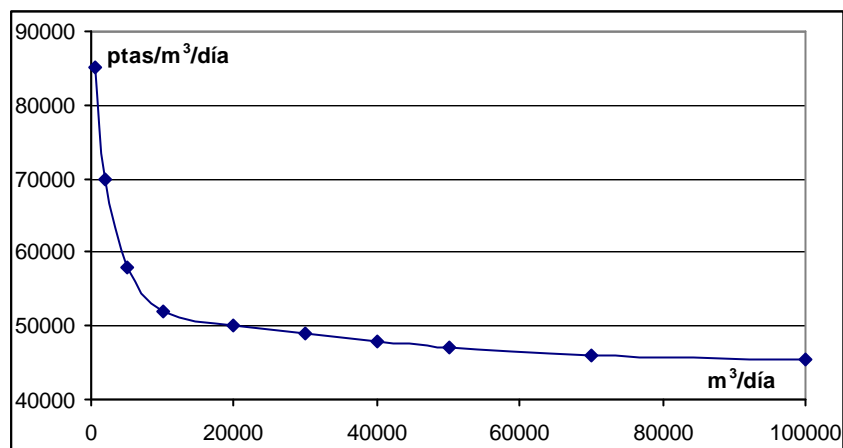
Aunque en esencia la instalación de una estación desaladora de aguas salobres (EDAS) es idéntica a la de una estación de agua de mar (EDAM), **los costes que soporta son mucho menores**, ya que tanto el pretratamiento, como el número de módulos, equipo de bombeo, presión de operación y posttratamiento son menos intensivos, incidiendo positivamente en el coste final del agua.

9.3.1.1. Coste energético de las EDAS.

El consumo específico derivado depende de la salinidad del agua bruta, el porcentaje de recuperación deseado, el tamaño de planta y la calidad requerida. También la captación tiene su peso importante ya que si el acuífero está muy profundo el coste de su extracción puede ser muy cercano al de bombeo para el fenómeno de ósmosis. En general, podemos decir que en el rango de 2.000 a 10.000 ppm. de TDS, el consumo específico asociado para instalaciones de mediana-grande capacidad y porcentaje medio de recuperación (en torno al 75%) varía de 1 a 2 kWh/m³. **Ello significa que el coste eléctrico para desalación de aguas salobres supone tan sólo de 7 a 20 ptas/m³**, manteniendo los precios de la electricidad expuestos anteriormente.

9.3.1.2. Coste de inversión.

Al igual que las EDAM, las EDAS sufren una fuerte reducción del precio por m³/día de capacidad, aunque en el caso de plantas de gran tamaño no es tan espectacular. **Como término medio, podemos decir que para instalaciones pequeñas y medianas el coste de inversión es la tercera parte de los de una EDAM, y para grandes instalaciones algo menos de la mitad requerida para desalar agua de mar.** La gráfica siguiente muestra el coste de inversión medio para una EDAS en función de su tamaño.



Gráfica 9.8. Coste de inversión de una EDAS (ptas/m³/día) dependiendo del tamaño requerido.
Fuente: Fariñas (1999) y elaboración propia.

El porcentaje del equipamiento respecto del total y el período de amortización puede considerarse prácticamente el mismo que para el caso de agua desalada de mar. La tabla siguiente resume el coste de amortización derivado en estas explotaciones.

Tiempo amortización (años)	10	15	20	25
Coste amortización al 4 % de interés (ptas/m ³)	18-28	13-21	11-17	9-15
Coste amortización al 5 % de interés (ptas/m ³)	19-30	14-22	12-18	10-16

Tabla 9.10. Coste de amortización de las EDAS dependiendo del período medio de amortización de la misma, tasa de interés y tamaño de la instalación.
Fuente: Elaboración propia.

En este coste de amortización se ha considerado una inversión correspondiente a una planta con un cierto nivel de automatización e infraestructuras y edificación de carácter permanente. En el caso de pequeñas instalaciones para el riego en las que dichas premisas no se cumplan, el coste de inversión puede reducirse casi hasta la mitad, con lo que el coste de amortización asociado a este tipo de plantas debe considerarse algo menor al expuesto aquí.

9.3.1.3. Coste de mantenimiento y personal.

El coste debido a esta partida es prácticamente el mismo a una instalación EDAM, pero el tamaño medio de este tipo de plantas suele ser menor que las anteriormente mencionadas y por lo tanto este coste es en general más reducido que en la desalación de aguas salobres, incorporando un coste medio de 5 a 13 ptas/m³.

9.3.1.4. Coste de aditivos químicos.

Normalmente no son necesarios tantos agentes como en el caso de las EDAM, máxime cuando la mayoría de estas instalaciones van a ser utilizadas para riego. Un coste de 2 a 5 ptas/m³ es el que debe asignarse a esta partida para las EDAS.

9.3.1.5. Coste de reposición de membranas.

El porcentaje de reposición de membranas puede ser incluso superior a los de las EDAM, pero su menor coste de adquisición supone un coste menor al obligado en el caso de desalación de agua de mar. Dicho coste es un cargo adicional de 2 a 4 ptas/m³.

9.3.1.6. Coste total asociado a la desalación de aguas salobres.

Como ha podido verse en los subapartados todos los costes asociados a la desalación de aguas salobres son menores que los de agua marina. **El rango obtenido varía desde las 28 ptas/m³ en el mejor de los casos hasta 60 ptas/m³ en caso de pequeñas instalaciones con extracción problemática.** La amortización tomada es la misma adoptada para el caso de las EDAM.

A la vista de estos costes, no es de extrañar la proliferación de EDAS en zonas del levante español con graves problemas de salinidad y contaminación de sus acuíferos sobreexplotados, para riego de cultivos intensivos de alta rentabilidad y alto consumo hídrico por Ha. El coste obtenido es bastante cercano al del trasvase Tajo-Segura.

9.3.2. Desalación por electrodiálisis.

Aunque la tecnología de la electrodiálisis no está tan extendida como la de osmosis inversa, **en el caso de aguas salobres de salinidad baja (en torno a los 1.000-1.500 TDS) la tecnología ED puede competir con las EDAS,** además de ser una tecnología también utilizable en la depuración de aguas residuales (ver capítulo siguiente).

Como hemos dicho antes, el consumo eléctrico es del mismo orden que el de la ósmosis inversa para bajas salinidades, y además necesita menor uso de reactivos. El mantenimiento de la instalación también es más sencillo que una EDAS (la reposición de membranas también supone un coste menor), aunque la inversión inicial es ligeramente superior al agua osmotizada. En la tabla siguiente se muestran los costes asociados a esta opción, que como hemos remarcado queda limitada a aguas salobres de bajo contenido salino.

Descripción del coste	ptas/m ³
Consumo eléctrico	10-20
Amortización inversión	15-22
Mano obra y mantenimiento	5-12
Reposición membranas	1-2
Aditivos químicos	1-3
TOTAL	32-59

Tabla 9.11. Descripción de costes obtenidos por ED para desalación de aguas salobres.

Fuente: Elaboración propia.

9.4. Resumen

En la desalación de aguas marinas, **las plantas de ósmosis inversa de tamaño considerable son la opción más barata con diferencia en la situación actual del mercado energético. Los costes de inversión ya están por debajo de las técnicas evaporativas, por lo que se supone que será predominante en nuestro país en los próximos años.** La evolución tecnológica de los diversos tipos de membranas va a contribuir seguro a un abaratamiento de costes del agua desalada por OI impensable unos años atrás.

En la desalación de aguas salobres, **la elección de la ED o la OI como tecnología de desalación va a depender fundamentalmente de la calidad del agua aportada, que permita una mejor operación sin afectar a sus membranas.**

Agua	Método	Coste (ptas/m ³)
Marina	MSF	121-178
	MED-TVC	85-117
	CV	130-174
	OI	63-130
	Cogeneración	60-80
Salobre	OI	28-60
	ED	32-59

Tabla 9.12. Resumen de costes obtenidos por tecnologías de desalación.
Fuente: Elaboración propia.

10. REUTILIZACIÓN DE AGUAS.

10.1 Introducción

La recuperación de la calidad el agua mediante la depuración de las aguas residuales en las estaciones correspondientes (EDAR) y su posterior reutilización es una forma de aumentar los recursos disponibles además de minimizar el impacto de su vertido al medio ambiente en las zonas con escasez de agua. **En la actualidad, ya se reutilizan alrededor de 200 hm³/año, pero el horizonte para el año 2015 es de 1.100 hm³/año, cuando la mayoría de las EDAR de poblaciones de más de 5.000 habitantes depuren sus aguas (MIMAM, 2000).**

Se debe distinguir muy claramente entre una reutilización directa y la reutilización indirecta a través de cursos naturales. En los sistemas de explotación interiores las aguas residuales se vierten más o menos tratadas a ríos o embalses, y pueden ser diluidas aguas abajo para ser parcialmente reutilizadas en zonas aguas abajo para nuevos usos urbanos, industriales o agrícolas. Sin embargo en zonas costeras las aguas residuales suelen ser evacuadas al mar a través de emisarios, cauces o acuíferos sin posibilidad de aprovechamiento posterior. Por lo tanto, es en esas zonas costeras o en zonas interiores con problemas de abastecimiento donde se puede plantear la reutilización directa y planificada del agua residual hasta su aprovechamiento sin dilución previa.

Un factor a tener en cuenta en la reutilización de aguas es la aceptación pública del reciclado, una barrera hasta ahora insalvable en ciertos lugares. A los seres humanos nos encanta creer que el agua que usamos es siempre nueva, que es un bien inagotable. Pensar que estamos utilizando o reusando un agua reciclada, y más si su procedencia es urbana, repugna de antemano. A veces una cuestión semántica puede resolver el problema: por ejemplo si se nos dice que se trata de un agua regenerada, estaríamos más inclinados a usarla. La calidad del agua depurada debe ser el mayor empuje para la progresiva aceptación de este nuevo recurso. Los astronautas llevan mucho tiempo consumiéndola, tal vez su aceptación sea de algún modo forzosa en este tipo de situaciones sin otra alternativa posible.

En la actualidad, utilizando una cuidadosa metodología de investigación previa y adecuados tratamientos avanzados, **se puede reutilizar agua residual urbana para cualquier uso**, incluido el de agua potable para uso humano. Por lo tanto, son necesarios dos pasos principales para cualquier proyecto de reutilización de ARU:

- ?? Definir los niveles de calidad adecuados para el uso previsto.
- ?? Establecer los procesos de tratamiento necesarios (suelen llamarse terciarios avanzados) para la calidad del efluente recomendada.

En los siguientes apartados describiremos cada uno de esos dos pasos. Un último apartado incluirá los costes asociados a cada uno de las soluciones de tratamiento posibles.

10.2. Calidad requerida para los diferentes usos.

Para que la reutilización sea posible como fuente alternativa de abastecimiento y ofrezca seguridad desde el punto de vista sanitario y ambiental, es imprescindible que el agua residual se depure hasta que reúna la calidad apropiada a su nuevo uso. **Así, para**

cualquier aplicación relacionada con el contacto o la alimentación humana/ animal, el agua no debe contener organismos patógenos y sustancias tóxicas; para la recarga de acuíferos el agua debe tener características de agua mineral, para el uso en calderas no debe contener sales, para el regadío puede contener materia orgánica y nutrientes pero no metales ni oligoelementos hasta concentraciones tóxicas...

Sin embargo son diversos y hasta heterogéneos los criterios de calidad establecidos en los distintos países. En España, que no tiene en estos momentos una normativa de reutilización, se ha elaborado un borrador como propuesta de decreto que presumiblemente puede ser aprobado en breve (MIMAM, diciembre de 1999). En el mismo **se establecen 14 posibles usos para el agua reutilizada:**

1. Usos domiciliarios
 - Riego de jardines privados.
 - Descarga de aparatos sanitarios.
 - Sistemas de calefacción y refrigeración de aire domésticos.
 - Lavado de vehículos.
2. Usos y servicios urbanos.
 - Riego de zonas verdes de acceso público (campos deportivos, campos de golf, parques públicos, etc.)
 - Baldeo de calles.
 - Sistemas contra incendios.
 - Fuentes y láminas ornamentales.
3. Cultivos de invernadero.
4. Riego de cultivos para consumo en crudo. Frutales regados por aspersión.
5. Riego de pastos para consumo de animales productores de leche o carne.
6. Riego de cultivos destinados a industrias conserveras y productos que no se consuman crudos. Riego de frutales excepto por aspersión.
7. Riego de cultivos industriales, viveros, forrajes ensilados, cereales y semillas oleaginosas.
8. Riego de bosques, industria maderera, zonas verdes y de otro tipo no accesibles al público.
9. Refrigeración industrial, excepto industria alimentaria.
10. Estanques, masas de agua y caudales circulantes, de uso recreativo en los que está permitido el contacto del público con el agua.
11. Estanques, masas de agua y caudales circulantes ornamentales, en los que está impedido el contacto del público con el agua.
12. Acuicultura (biomasa vegetal o animal).
13. Recarga de acuíferos por percolación localizada a través del terreno.
14. Recarga de acuíferos por inyección directa.

Recaltar que **no se permite el consumo humano**, que en los casos 10 y 11 no debe haber olores, que no se pueden cultivar moluscos filtradores y que cualquier nuevo uso debe ser regulado previamente.

Los criterios de calidad especificados para cada uso son los siguientes, resumidos en la tabla aneja:

Criterio calidad	Componente	Límite
Biológicos	Huevos nematodos intestinales	< 1 huevo/l todos usos excepto 9 y 11

	Escherichia Coli	0 ufc/100 ml para usos 1 y 14. < 200 ufc/100 ml para 2, 3, 4 y 10. < 1.000 ufc/100 ml para 5, 6, 12 y 13. < 10.000 ufc/100 ml para 7 y 9. Sin límite para usos 8 y 11.
Físico-químicos	Sólidos en suspensión	< 10 mg/l para usos 1 y 14. < 20 mg/l para usos 2, 3 y 4. < 35 mg/l para resto usos.
	Turbidez	< 2 NTU para usos 1 y 14. < 5 NTU para usos 2, 3 y 4. Sin límite en el resto de usos.
Otros	Legionella Pneumophila	0 ufc/100 mL para uso 3 y 9.
	Taenia Saginata y Solium	< 1 huevo/L para uso 5.
	Nitrógeno total	< 50 mg/L para uso 13. < 15 mg/L para uso 14.

Tabla 10.1. Calidad del agua requerida dependiendo del uso especificado.

Fuente: Prats (2000).

Las comunidades autónomas pueden añadir otros parámetros químicos o incluir criterios más restrictivos a los especificados anteriormente.

De acuerdo con estos parámetros indicados anteriormente, la gran mayoría de las EDAR españolas no son aptas para ser reutilizadas directamente, a pesar de tener tratamiento terciario para eliminar nutrientes. Por lo tanto es necesario realizar tratamientos complementarios para mejorar su calidad hasta su aptitud para el uso, por eso las instalaciones de reutilización suelen llamarse tratamientos terciarios avanzados.

10.3. Tratamientos de aguas residuales para reuso.

La siguiente tabla muestra los diferentes tratamientos complementarios posibles en función de qué componente es necesario eliminar del efluente proveniente de una EDAR.

Componente	Método eliminación
Sólidos en suspensión y turbidez	Filtración convencional en medio poroso Microfiltración.
Microorganismos patógenos	Desinfección por UV, MF, UF, NF, Cl, ozono o lagunaje
Metales pesados	Precipitación química
Compuestos de fósforo	Precipitación química Eliminación biológica
Compuestos nitrogenados	Eliminación biológica
Tóxicos orgánicos	Adsorción Ultrafiltración
Sales disueltas	Ósmosis inversa Electrodialisis Intercambio iónico

Tabla 10.2. Tratamientos de eliminación de elementos y componentes nocivos de aguas depuradas.

Fuente: Prats (2000) y elaboración propia.

La calidad del agua residual bruta es determinante para diseñar el proceso de tratamiento, que será más complejo y costoso cuanto más contaminantes haya que eliminar. **Lo que sí parece claro es que es necesario eliminar la propia salinidad provocada por el consumo doméstico, haciendo que su contenido en sales aumente entre 150 y 400 mg/l.** En cada caso hay que realizar un estudio específico en el que, a partir de las necesidades de reutilización de la zona, se tenga en cuenta la calidad del efluente de la depuradora, se definan los tratamientos complementarios y las modificaciones necesarias en el proceso de depuración. **En este estudio deben incluirse los beneficios y costes asociados a cada uno de los nuevos usos para verificar la viabilidad económica y medioambiental de la reutilización frente a otras fuentes de aprovisionamiento.**

10.3.1. Desalación de aguas provenientes de una EDAR.

La desalación de aguas provenientes de una estación depuradora de aguas residuales es una técnica necesaria en la reutilización de aguas depuradas. **Además de la desalación, dichas instalaciones llevan consigo un pretatamiento necesario para la operación de las membranas para OI o ED, que a la vez permiten la eliminación de componentes nocivos inmersos en las aguas residuales (ver tabla anterior).**

10.3.1.1. Desalación por ósmosis inversa.

La ósmosis inversa al ser una técnica de hiperfiltración donde el agua pasa a través de la membrana, exige que los niveles de sólidos en suspensión y materia viva (materias, algas, etc.) sean lo más pequeños posibles al objeto de evitar un rápido ensuciamiento de la membrana. En la práctica no suelen permitir índices de atascamiento SDI_{15} mayores a 3, y una turbidez menor que 0.2 NTU. Las membranas más usadas para esta aplicación eran hasta hace poco tiempo las de acetato de celulosa, debido a su capacidad para trabajar con cloro continuo, pero deben trabajar en medio ácido para evitar su hidrólisis. En los últimos años se ha pasado a utilizar membranas de poliamida aromática que tienen como ventaja sobre las de acetato de celulosa, una menor presión de operación, una mejor calidad de producto y la no necesidad de mantener un pH determinado.

10.3.1.2. Electrodiálisis reversible.

Su recuperación suele ser superior al de las membranas de OI (en torno a 80-90%), pero tiene la desventaja de remover sólo las partículas cargadas eléctricamente. **Como posee una autolimpieza cíclica por el cambio de polaridad, generalmente cuatro veces por hora, posee unas exigencias menores de calidad en el efluente,** permitiendo un índice de atascamiento SDI_{15} altos y turbideces menores que 5 NTU. Se intuye claramente que las necesidades de pretratamiento son menores que en el caso de usar OI para el mismo tratamiento.

10.3.1.3. Pretatamientos necesarios para la desalación de ARU.

Hay varios pretratamientos si desalamos ARU. Como anteriormente se comentó algunos de ellos tienen efectos depuradores además de proteger a las membranas desaladoras. Por ejemplo los siguientes:

- ?? Filtración granular: Etapa de filtrado para el caso de utilización de EDR, que usa filtros monocapa y multicapa de antracita.
- ?? Clarificación-filtración: También es solo necesario en el caso del uso de la EDR, ya que como hemos dicho anteriormente este tipo de elementos no los puede eliminar y además ensucian las membranas.
- ?? Clarificación con cal-filtración: Puede usarse para ambos procesos desaladores, pero su coste suele ser muy alto a pesar de la calidad obtenida.

- ?? Filtración: Se usa para reducir la turbidez en el caso de utilizar la OI como proceso desalador.
- ?? Microfiltración (MF): Se integran en la instalación para evitar los grandes problemas de ensuciamiento de las membranas posteriores. Su mayor diferencia con respecto a las membranas de OI normales para desalación es su capacidad filtrante (por tanto mucho más susceptibles de ensuciamiento también). **La microfiltración realiza una separación de partículas de hasta 0.1 micra** (las membranas de OI tienen una selectividad menor de 0.04 micras y las de ED es de 0.03 micras) y están construidas de fibra hueca de mayor diámetro que las tradicionales, y trabaja de forma discontinua. El pequeño tamaño de los poros de estas membranas les permite además la retención de bacterias y parte de los virus.
- ?? Ultrafiltración (UF): Es muy parecido al anterior, pero en este caso también existen membranas de arrollamiento en espiral. **La selectividad de este tipo de membranas es mucho mayor que la MF, llegando a las 0.01 micras.** Su poder de limpieza frente a virus y bacterias es ya muy considerable, reteniendo un porcentaje elevadísimo de todos ellos.
- ?? Nanofiltración (NF): **Su selectividad es aún mayor, en el rango de 0.01 a 0.001 micras.** Como el tamaño mayor de los virus conocidos es mayor de 0.003 micras, el proceso de nanofiltración elimina todos agentes patógenos conocidos.

A modo de resumen se incluye en las siguientes tablas el tamaño medio de diversos componentes constituyentes de un agua residual y la capacidad selectiva de algunos métodos y procesos utilizados en depuración de aguas residuales.

Componente	Dimensiones (micras)	Tamaño
Algas	1-700	Partícula
Arenas	100-2000	Partícula
Limos	20-100	Partícula
Arcillas	0,1-10	Partícula
Polen	20-60	Partícula
Bacterias	0,7-80	Macromolécula
Virus	0,003-0,03	Molécula
Sales disueltas	0,0008-0,004	Ión
Iones metálicos	<0,0006	Ión

Tabla 10.3. Tamaño de componentes existentes en el agua.
Fuente: Medina (2000).

Proceso	Grado separación (micras)
Filtración multicapa	> 100
Filtración cartuchos	> 1
Filtración sobre precapa	> 0,5
Microfiltración	> 0,1
Ultrafiltración	> 0,01
Nanofiltración	0,001-0,01
Ósmosis inversa	< 0,04
Electrodialisis	< 0,03

Tabla 10.4. Selectividad de diferentes procesos de separación comentados anteriormente.
Fuente: Medina (2000).

Debe resaltarse que muchos de los pretatamientos antes descritos pueden funcionar de manera aislada como único tratamiento en el caso de que no sea necesario reducir la salinidad residual de salida de un efluente de una EDAR.

10.3.2. Otros tratamientos.

También pueden destacarse otros tratamientos que no se han incluido como pretatamientos de las instalaciones de reutilización de aguas residuales por desalación (Martínez, 2000). Entre ellos cabe destacar dos tratamientos:

- ?? Físico-químicos: Inclusión de coagulantes, polielectrolitos para favorecer la floculación y depósitos de decantación lamelar. También hipoclorito sódico para desinfección convencional.
- ?? Rayos ultravioleta: La desinfección por lámparas de rayos ultravioleta (UV) puede ser una alternativa perfectamente comparable a la de desinfección por hipoclorito sódico. Se detecta una disminución clara de su efectividad con el grado de turbidez y sólidos suspendidos.

10.4. Costes de la reutilización de ARU.

El coste asociado a las instalaciones de reuso de aguas residuales está claramente condicionado por las especificaciones requeridas para su nuevo uso y las singularidades del agua proveniente generalmente del tratamiento secundario de la depuradora. No obstante se van a proporcionar algunos datos, a título orientativo para analizar su rentabilidad frente a otras alternativas, principalmente a la desalación de aguas salobres. **El análisis económico se realizará para aguas de riego, la de menos exigencias de calidad para su reuso.**

Dejando a un lado los pretatamientos físico-químicos y la desinfección por rayos ultravioleta, de coste superior al resto de propuestas, **la mayoría de instalaciones de este tipo constan de una pequeña etapa de filtrado/decantación, que normalmente también sirve para controlar las fluctuaciones de caudal provenientes de la EDAR. Después suele colocarse una etapa de microfiltración MF, y finalmente una etapa de ósmosis inversa OI o electrodiálisis reversible EDR.** (Rubio, 2000; Cortés, 2000).

El consumo eléctrico asociado a la etapa OI/EDR se sitúa en torno a los 0.7-1.5 kWh/m³, y el coste de la microfiltración es bastante menor, alrededor de 0.5 kWh/m³. En cuanto a las presiones de operación de las membranas, el valor típico si instalamos OI es de 12 bar, y una presión de 2 bar para el proceso MF. Por tanto el coste de la electricidad consumida es de 9 a 11 ptas/m³.

El coste de los reactivos químicos suele girar alrededor de 5 ptas/m³. El coste de reposición de membranas nunca sobrepasa las 3 ptas/m³, y el mantenimiento se puede valorar en una franja de 2 a 10 ptas/m³, ya que la dedicación necesaria puede variar mucho según la calidad del efluente.

Finalmente, el coste de inversión de este tipo de instalaciones es menor que el de una EDAS, evaluándose en torno a las 10-15 ptas/m³, considerando los mismos criterios de amortización que los aplicados para la desalación de aguas saladas.

Sumando todos los costes de explotación de estas plantas y la amortización necesaria, podemos concluir que los costes de una instalación “típica” que consta

de filtro-MF-OI/EDR tiene un coste del agua reutilizada de 29 a 44 ptas/m³, un coste perfectamente asumible para el riego de cultivos intensivos.

Por lo tanto, la reutilización de aguas provenientes de una EDAR puede ser en muchos casos al menos a los mismos precios que la desalación de agua salobre. Teniendo en cuenta en que en el proceso descrito aquí se mejora la calidad de las aguas residuales que quizás se verterían a un cauce o rambla, y que la problemática de la sobreexplotación de acuíferos frena considerablemente la expansión a gran escala de las EDAS, este proceso puede convertirse en los próximos años una alternativa muy seria.

10.5. Consideraciones finales sobre la reutilización de ARU.

Es necesario señalar que la reutilización de aguas provenientes de una EDAR es una técnica relativamente novedosa respecto de la desalación, y está supeditada a la instalación de las estaciones depuradoras en las poblaciones. En España no está tan desarrollada como en otros países como en los EEUU, que suelen utilizar plantas de NF/OI para reciclar aguas degradadas. Sin embargo la evolución en los últimos años es bastante esperanzadora. **Hay experiencias interesantes como el reciclado de las ARU de la metrópoli madrileña para el riego de sus parques y jardines, el plan de aprovechamiento integral directo de los efluentes depurados de la comarca almeriense de Campo de Dalías (con graves problemas de sobreexplotación de acuíferos), con un volumen de agua depurada actual de alrededor de 9 hm³/año (Cortés, 2000), o diversas explotaciones en las Islas Canarias como el sistema de reutilización Santa Cruz-Valle de San Lorenzo, que permite el riego de la parte sur en Tenerife de 750 ha. de regadío (Marrero, 2000), o la planta desaladora de reutilización de Cardones (Gran Canaria), utilizada principalmente para el riego de plataneras.**

Respecto a la Comunidad Autónoma Murciana, en la actualidad tiene proyectadas 11 depuradoras en diversas localizaciones (Yecla, Jumilla, Albarán, Villanueva del Segura, Mula, La Hoya, Mazarrón, Fuente Álamo, Puerto Lumbreras, Águilas) que resolverán al menos parcialmente la grave situación de la Cuenca del Segura, sobre todo en cuanto a la eliminación de la carga orgánica vertida de sus fábricas de conservas alimentarias. Ello generará ya a partir de mediados del año que viene unos efluentes de 65 hm³/año, de los cuales podrá obtenerse una parte considerable (en torno al 60-70%). Desde luego la reutilización de aguas residuales debe considerarse como un aporte más de recurso pero no soluciona el déficit hídrico estructural de la cuenca, establecido en 460 hm³/año, en el caso de que el consumo agrícola sea varias veces superior al humano.

En el Plan Hidrológico Nacional, **el volumen de ARU reutilizadas se contabiliza como recurso hídrico en el Plan Hidrológico de cada cuenca hidrográfica, cosa que no hace para el volumen de aguas desaladas.** En cuanto a la cantidad especificada de reutilización obtenida, al menos en la Cuenca Hidrográfica del Segura es muy razonable (100 hm³/año), aunque bastante escasas para la Cuenca del Júcar (103 hm³/año) y las Cuencas Internas de Cataluña (50 hm³/año en su zona centro) (MIMAM, 2000).

En resumen, **la desalación de aguas residuales es una técnica muy interesante para el riego de parques y jardines, a un precio inferior al agua desalada e incluso al agua obtenida de una transferencia intercuencas. Pero es necesario recordar que necesita un diseño específico en función de las características del agua residual**

aportada, y por lo tanto del tratamiento secundario y terciario realizado en la estación depuradora de aguas residuales (EDAR).

11. LA GESTIÓN INTEGRAL DE LA PRODUCCIÓN DE AGUA COMO ALTERNATIVA AL PHN.

Hasta ahora, en el informe todos los procesos se habían tratado de forma individualizada, es decir, no se había pensado en un diseño de planta integrada que se nutra de varios tipos de recursos hídricos no consumibles (aguas marinas, salobres y depuradas) y a través de una gestión global, realizando el proceso más adecuado a cada tipo de aguas, proporcionar el agua de calidad suficiente a cada uso de la población. **La integración puede pensarse como alternativa real al PHN para el abastecimiento de ciudades, en base a su menor coste final obtenido para la ciudad.**

Quizás la gestión integrada de recursos hídricos es más entendible a través de un ejemplo. Partiendo de una ciudad mediterránea típica cercana al mar, con una población estimada de 150.000 habitantes y un consumo medio (y estable a lo largo del año) por habitante de 350 litros por habitante y día. Ello supone una demanda anual de alrededor de 19 hm³, de ella un porcentaje elevado se destina al consumo humano (en este ejemplo ilustrativo se toma el 67%), y el resto al riego de parques y jardines de la ciudad (con colectores propios para evitar la mezcla de aguas). Los porcentajes de recuperación escogidos para los procesos de desalación marina (EDAM), de aguas salobres (EDAS) y de reutilización de aguas residuales (EDAR) son respectivamente del 45%, 80% y 55%, y los retornos del agua de consumo y de riego tras su uso se estiman en un 80% y 20% para su tratamiento en la estación depuradora.

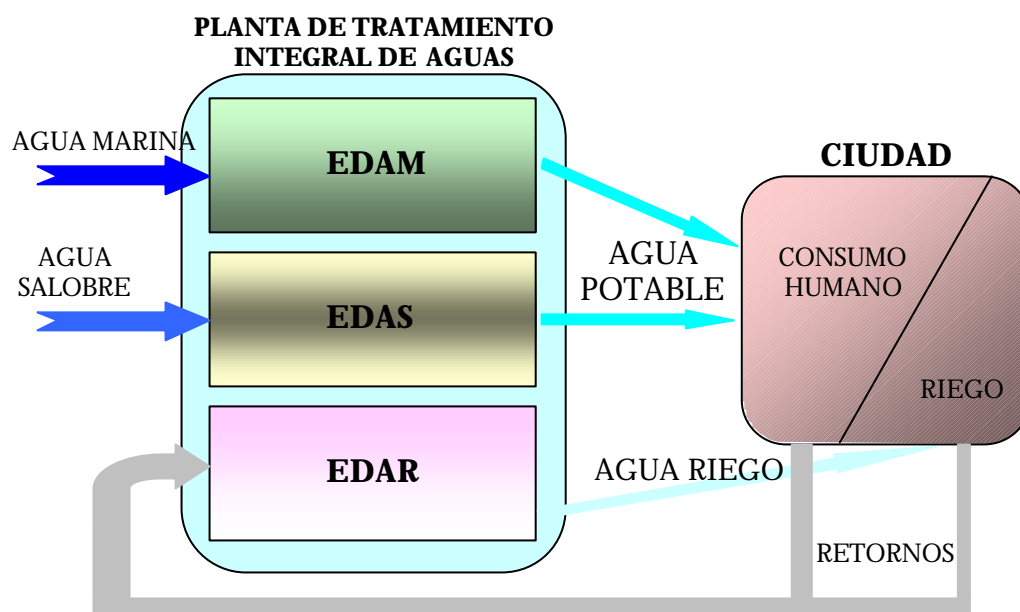
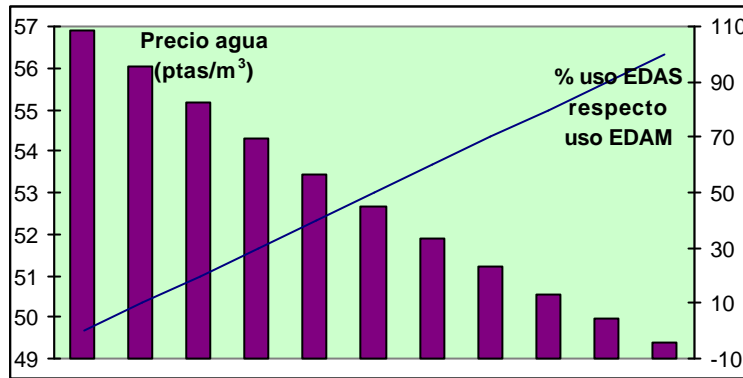


Figura 11.1. Esquema de una planta de abastecimiento integral de aguas saladas y residuales.
Fuente: Elaboración propia.

Se puede estudiar el coste final del agua tratada en esta estación integrada en función de varios parámetros de diseño de la instalación. El precio del agua obtenida por desalación de agua marina, agua salobre y depuración terciaria se estipula en 60, 30 y 32 ptas/m³ para el caso de instalaciones de 50.000 m³/día de capacidad. Como dicha capacidad es mayor que la necesaria para esta ciudad en cualquiera de los tres métodos integrados dentro del

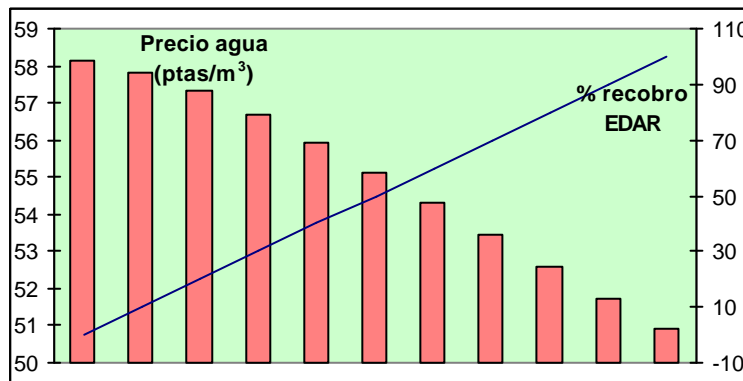
complejo de abastecimiento, dicho coste se incrementa de forma lineal hasta 20, 10 y 10 ptas/m³ para instalaciones de tamaño muy pequeño.

El primer factor digno de estudio es el efecto sobre el coste medio del agua de abastecimiento del porcentaje de aguas salobres extraídas respecto de las marinas. La siguiente gráfica muestra como la utilización de agua salobre en mayor cuantía abarata el coste de abastecimiento medio de la ciudad.



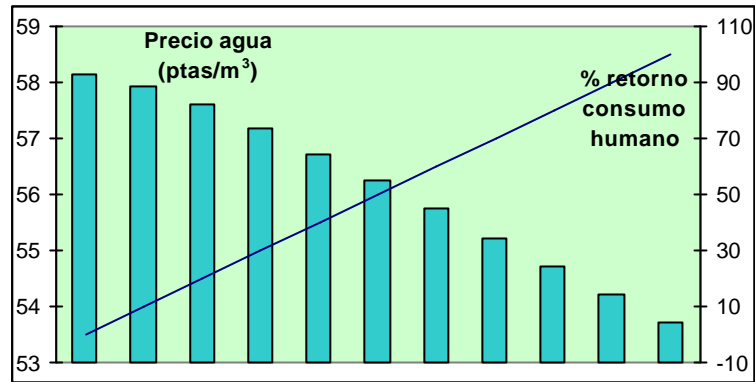
Gráfica 11.1. Efecto del porcentaje de producción de agua dulce desalada a partir de aguas salobres. Fuente: Elaboración propia.

Otro factor interesante es el porcentaje de recuperación de la EDAR integrada dentro del sistema conjunto. Este factor limita la posibilidad de producción de agua apta para el riego de parques y jardines, con lo que debe tenerse en consideración para calcular adecuadamente los consumos de la ciudad.



Gráfica 11.2. Efecto del porcentaje de recuperación de la EDAR en el coste medio del agua de abastecimiento. Fuente: Elaboración propia.

Para finalizar, el porcentaje de retorno de agua de consumo a la planta de reutilización es un factor crítico tanto en el coste final medio del agua que abastece nuestra ciudad ejemplo, como en el porcentaje que puede utilizarse para consumo humano y riego, de forma análoga a la que aparece en la gráfica anterior.



Gráfica 11.3. Efecto de la tasa de retorno de aguas de consumo a la EDAR en el coste medio del agua de abastecimiento de nuestro ejemplo.

Fuente: Elaboración propia.

Este ejemplo muestra cómo **una planificación integrada del abastecimiento de ciudades con procesos de desalación y reutilización de aguas puede ofrecer unos precios muy competitivos con respecto a una alternativa de trasvase, en torno a las 50 ptas/m³. En el caso de ciudades más grandes que la del ejemplo, dicho coste podría reducirse hasta las 40 ptas/m³.**

12. CONCLUSIONES Y CONSIDERACIONES RESPECTO AL PHN

12.1. Costes del agua desalada.

La tecnología actual de desalación de agua de mar permite obtener agua apta para el consumo humano en el margen 60-65 ptas/m³ (puede bajar este precio según el criterio de amortización impuesto), con una previsión claramente a la baja en dichos precios gracias al desarrollo de la tecnología de membranas que se impone en el mercado y a la tendencia de los últimos años. La liberalización del mercado de la energía eléctrica también contribuye a una rebaja general en los precios ya apreciada para todos los consumidores desde el año 1997. **La tecnología de evaporación aprovechando las especiales condiciones actuales del régimen de cogeneración puede producir agua desalada de mejor calidad a precios similares, pero está mucho más supeditada al precio de los combustibles fósiles,** por lo tanto dependiente de la variabilidad de las cotizaciones internacionales del mercado energético.

En cuanto a la utilización de desaladoras para aprovechar aguas salobres o reutilizar las provenientes de las estaciones depuradoras de aguas residuales, está muy claro que ambas tienen unos costes inferiores a la desalación de agua de mar, en torno a las 30 ptas/m³, y que desde luego es menor al coste propuesto en el trasvase propuesto en el PHN de alrededor de 52 ptas/m³. Pero hay que tener en cuenta que **ambas tienen serias limitaciones en cuanto a la disponibilidad de sus recursos de agua bruta:** las aguas salobres proceden de acuíferos generalmente sobreexplotados que pueden empeorar todavía más su calidad si los rechazos se reinyectan en él, como suele decirse puede ser *'pan para hoy y hambre para mañana'*. Las EDAS están especialmente indicadas para el tratamiento de acuíferos costeros que sufren intrusión marina, ya que en este caso los problemas medioambientales que acarrea son evitados (el vertido de salmuera va directamente al mar). Y las aguas procedentes de las EDAR recordemos que como máximo llegarían en torno al 5% del consumo total en España, ya que en la actualidad el consumo humano en España es del 15% y no todas las poblaciones tienen obligación de depurar sus aguas residuales de vertido.

La gestión integrada de los tres procesos, aplicando el balance global de las necesidades urbanas y recursos de naturaleza no renovable (desalación y reutilización), puede obtener precios medios del agua de abastecimiento a ciudades de menos de 50 ptas/m³ para grandes ciudades. Aunque debe tenerse en cuenta que son necesarias ciertas adaptaciones en los sistemas de abastecimiento de las ciudades (agua de calidad diferente para cada uso suministrada por diferentes canalizaciones).

Hay que recordar que el coste medio final del agua para abastecimiento urbano, contando captación, distribución y saneamiento, en España supera las 200 ptas/m³ (exactamente 229 ptas/m³, MIMAM, 2000), con lo que una ligera subida en el precio de captación (el valor medio está en 40 ptas/m³, y es muy superior en el Levante) no supondría una grave alteración en la economía de las familias españolas que consuman agua desalada.

La localización adecuada de este tipo de plantas, muy cercanas a los núcleos de población más importantes del litoral mediterráneo y ciudades incluso con baja altitud es muy importante porque hace prácticamente despreciable el coste del transporte a la red de distribución de las poblaciones abastecidas. Conviene señalar que el coste de

suministro del agua transferida en el trasvase a las ciudades no directamente tributarias del trasvase no está incluido en el análisis económico del trasvase.

Por su naturaleza, **los costes propuestos para la desalación tienen una fiabilidad y constancia mayores que los del trasvase**, teniendo en cuenta que éste es una gran obra de construcción que sufre normalmente incrementos en el coste inicial presupuestado, y las plantas desaladoras sólo dependen del precio de la energía y el coste de la tecnología, en franco decaimiento como toda técnica relativamente novedosa.

12.2. La desalación en el PHN

Respecto a la afección de la desalación de cara a su planteamiento como una hipotética alternativa al PHN, hay que señalar varios frentes de actuación. Pero aquí solo nos vamos a ceñir a los aspectos que afectan directamente a los relativos a la desalación, que es el motivo de este informe, aunque tras un detallado análisis del mismo se perciben ciertas arbitrariedades en su desarrollo y exposición.

En cuanto al análisis de rentabilidad del trasvase propuesto en el PHN, afecta directamente a la desalación ya que **uno de los beneficios económicos generados por el trasvase es suponer que toda el agua trasvasada se desala a un coste medio de 135 ptas/m³**. Teniendo en cuenta los costes obtenidos en este informe, y que el coste de llevar hasta los puntos de distribución es prácticamente nulo ya que la mayoría de desaladoras se instalarían cercanas a las poblaciones abastecidas, que en esta zona están en el mar o a cotas bajas (Murcia está 43 metros sobre el nivel del mar), este coste es sensiblemente superior al real. Por lo tanto, el beneficio económico por la garantía de abastecimiento, principal input de los beneficios en el análisis de rentabilidad del PHN, sería mucho menor al propuesto en el plan, aumentando considerablemente el periodo de retorno de la inversión necesaria.

Otro factor que no tiene en cuenta el PHN en cuanto a la desalación es su carácter de recurso permanente frente al carácter marcadamente temporal del trasvase. Si se analiza la figura 93 del análisis de sistemas hidráulicos del PHN (MIMAM, 2000), que contiene la cantidad anual derivable del Ebro, se distingue que en la época 1984-1992 dicha cantidad fue sensiblemente inferior a los 1.000 hm³ (consecuencia directa de la disminución de precipitaciones por el efecto invernadero), que sí podrían ser suministrados por plantas desaladoras. Este hecho no está introducido en el análisis de costes del trasvase, que supone que siempre sería posible trasvasar esa cuantía anual, y por lo tanto los costes reales de amortización del trasvase se incrementarían considerablemente.

Pero **el recurso hídrico desalado (y no cedido a otra cuenca) añade un beneficio a la cuenca cedente que no se ha contemplado.** Si la cuantía especificada en el trasvase no se deriva hacia la cuenca receptora gracias a la instalación de plantas desaladoras, se podrían crear en la cuenca cedente nuevas extensiones de regadío con esos volúmenes no trasvasados (o simplemente la totalidad de las extensiones prometidas en el segundo horizonte que indica el PHN, aunque en el Plan en repetidas veces se insinúa que nunca se ejecutarán en su totalidad). Entonces sería necesario hacer un análisis detallado idéntico al mostrado de la rentabilidad de las explotaciones de regadío en las cuencas receptoras, en este caso en la cuenca (mal llamada en este caso) cedente. Este beneficio social (este sí es el concepto adecuado de *'Mas agua para todos'* sólo debería añadirse a la alternativa de la desalación de aguas en las zonas deficitarias.

Finalmente, **en los Planes Hidrológicos de Cuenca (PHC), no se contabilizan los volúmenes anuales obtenidos con la desalación de agua de mar, sin embargo si se tienen en cuenta la reutilización de aguas residuales provenientes de las estaciones depuradoras.** Ello se debe a que están pensadas como solución en épocas de sequía prolongada, y en este caso ha quedado muy claro en este informe que la desalación nunca puede ser competitiva con respecto a otras alternativas (sería como realizar las obras del trasvase sin realización de transferencias a la cuenca receptora).

12.3. Consideraciones medioambientales.

En cuanto a los costes medioambientales generados por ambas soluciones, en general necesitan un estudio mucho más profundo que no es abordable en este informe (debe ser abordado por técnicos medioambientales). **El trasvase lleva un impacto ambiental relacionado con la magnitud de las obras a realizar, que afectan principalmente al paisaje y a zonas especialmente delicadas en una zona excesivamente saturada de la presión turística, y además efectos biológicos derivados de la interconexión de cuencas hidrográficas,** en contraposición con la idea de unidad de cuenca hidrográfica que promueve la nueva directiva europea en materia de aguas. El consumo energético necesario para el bombeo en el trasvase es siempre inferior al necesario para los procesos de desalación, pero no despreciable en el caso de las elevaciones desde la Cuenca del Júcar a la del Segura (más de 500 m. de salto real). **En una planta desaladora, sus impactos ambientales asociados se deben al elevado consumo energético (emisiones de CO₂, SO₂ y NO_x), vertido de efluentes cargados de un contenido salino superior al del equilibrio circundante, y el impacto visual y acústico de las instalaciones y tuberías necesarias.** Es necesario realizar un análisis del ciclo de vida (ACV) de ambas soluciones para realizar un análisis más profundo con cifras que permitan un juicio justo de ambas alternativas.

Desde luego la desalación de aguas salobres es ecológicamente insostenible. La instalación de EDAS es una solución que permite seguir sobreexplotando los acuíferos salinizados por el efecto de los fertilizantes, y por lo tanto su utilización contribuye todavía más a su degradación, con su extracción y su recarga parcial con rechazos de concentración todavía más salina (si no se vierte a un colector específico). Esta forma de desalación debería ser evitada en lo posible, ya que **sí se puede afirmar que esta solución a la falta de recursos hídricos va a generar pérdidas irreparables en un futuro no muy lejano.**

Finalmente, **la reutilización de aguas residuales debe ser promovida intensamente** porque permite cubrir en parte la demanda de agua para usos de baja calidad requerida en áreas urbanas. Además, la regeneración de toda agua previamente degradada desde el punto de vista ambiental es siempre encomiable.

12.4. Consideraciones estratégicas y finales.

Teniendo en cuenta que en el trasvase proyectado, tan sólo 440 de los 1.000 hm³/año detraídos están previstos para consumo urbano e industrial, lo que queda muy claro que el coste del agua obtenida por métodos de desalación es perfectamente asumible por la población. Estos costes son prácticamente los mismos a los previstos por el trasvase, mucho menores en el caso de reutilización, y además estarían siempre asegurados: la desalación es un proceso que no crea alarma social en el caso de prolongadas sequías.

Cabe remarcar que 8-12 plantas del tamaño de Carboneras, localizadas convenientemente, suplirían esta demanda con creces, con lo que la cantidad de plantas necesaria no sería excesiva. Teniendo en cuenta que la previsión de incremento del consumo urbano está claramente sobrevalorada en el PHN, siguiendo tendencias alcistas y no de ahorro como viene siendo habitual en los últimos años, y esos 440 hm³ pueden reducirse al menos en un 20%, necesitaríamos solamente 8 plantas como la de Carboneras para abastecimiento urbano. Si además incluimos el planteamiento de la instalación híbrida de desalación-reutilización, no serían necesarias tantas plantas de OI de la capacidad especificada. Aunque debe quedar claro que **la localización y dimensionamiento de plantas desaladoras y de reutilización debe estudiarse de forma individualizada y concienzuda, para cubrir la demanda y obtener el mínimo coste posible del agua para abastecimiento urbano.**

En Oriente Medio la industria desaladora está implantada a un nivel impensable aquí, con capacidades per cápita de más de 2.000 m³/persona y día, y constituyendo la única fuente de recursos hídricos, con lo que la realización de 8-12 grandes plantas de OI no sería inabordable técnicamente en nuestro país, con otras fuentes de suministro energético menos dependientes de la variabilidad del precio en el mercado internacional de combustibles fósiles.

También es muy importante resaltar que **la desalación permite una adaptabilidad a la demanda mucho mayor que una gran obra hidráulica**, sobre todo las plantas de ósmosis inversa, con su tipología modular. Ello permite generalmente una reducción de costes en la misma planta con su ampliación gracias a la economía de escala y el aprovechamiento de las instalaciones ya existentes.

En cuanto a la utilización de la desalación para riego, está claro que está supeditada a la rentabilidad del cultivo. Para aguas salobres o reutilizadas suele ser rentable económicamente, pero en el caso de agua desalada ya es más problemático. Y un trasvase sólo para regadío tendría difícil justificación social, si el abastecimiento para consumo humano ha sido cubierto por desalación y reutilización (el exceso de valoración de demanda para consumo humano en el PHN está tratando de justificar socialmente un agua que va a ser destinada a regadío). **La tendencia futura que se vislumbra en la desalación para la agricultura es el cultivo intensivo de regadío (incluso en invernadero) en cosechas de alta rentabilidad económica (tomate, pimiento, fruta tropical, etc.).** En este tipo de cultivos, otro tipo de costes como el de la mano de obra suelen ser siempre mucho mayores que el precio del agua a pesar de su origen, si éste no excede de unos límites. **En Canarias es normal pagar por el agua de 75 a 120 ptas/m³.**

ANEXO 1. Descripción y parámetros de operación del proceso MSF

La evaporación por efecto flash (MSF: Multi Stage Flash Distillation) se produce cuando un líquido es calentado hasta una temperatura y mediante una cámara flash se provoca una caída de presión suficiente para que sea menor a la de saturación a esa temperatura, evaporando parte del agua salada. En una planta convencional, el agua salada es calentada gradualmente por el interior de los tubos de los condensadores de la MSF, hasta llegar a un calentador final que usa como fuente de calor la condensación de un vapor proveniente de la planta de potencia. Posteriormente, el agua salada entra de nuevo en los intercambiadores-condensadores, donde en su parte baja tenemos la cámara flash que provoca la evaporación parcial del agua salada. Ese vapor condensa calentando el agua que circula por el interior de los tubos y es recogido en un canal; la pureza de esta agua es casi total (< 10 ppm) aún partiendo de aguas de más de 50.000 ppm. El agua salada no evaporada pasa a la siguiente etapa más concentrada (por eso el proceso se llama multietapa, ya que si no se realiza en cascada consumiría demasiada energía para desalar), y al final parte de dicha salmuera es tirada de nuevo al mar.

Normalmente hay recirculación en el proceso MSF para reducir el aporte de agua bruta a desalar y el consumo de aditivos químicos, pero existen plantas de un único paso (o sea, sin recirculación del agua bruta precalentada), que en general tienen menor eficiencia que las plantas de recirculación. La figura a1.1 muestra una planta típica sin recirculación de salmuera.

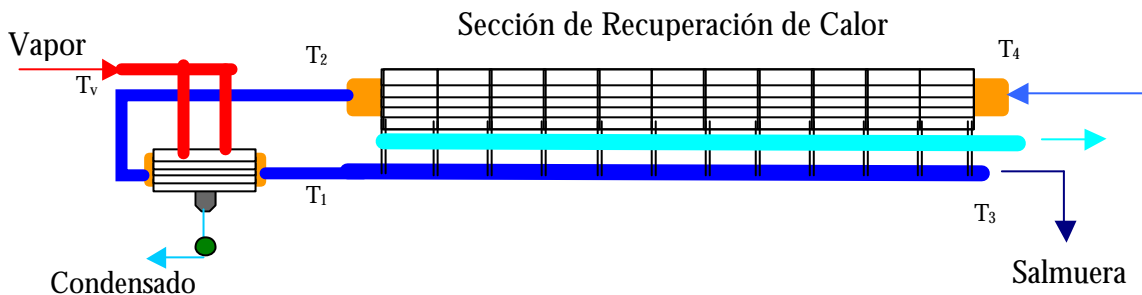


Figura a1.1. Descripción general de una planta MSF sin recirculación de salmuera.
Fuente: Botero (2000).

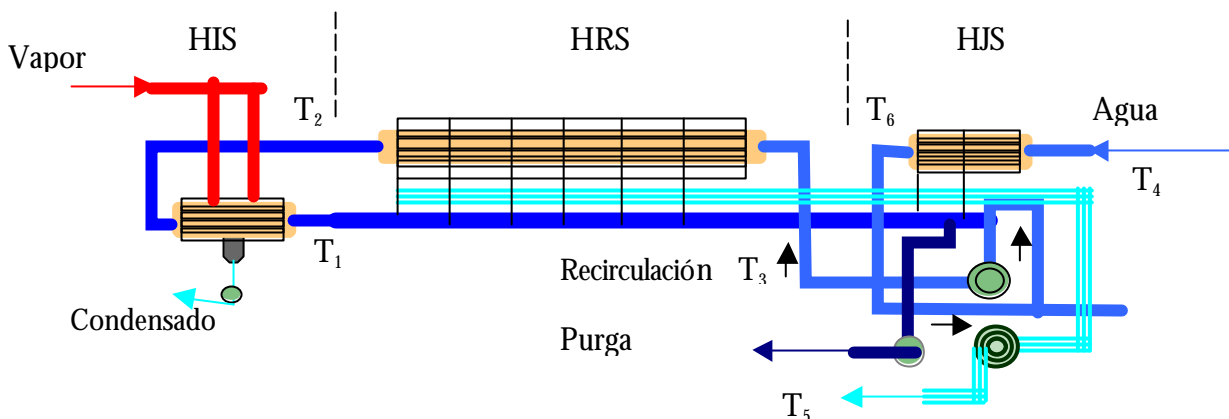


Figura a1.2. Esquema de una planta MSF con recirculación.
Fuente: Botero (2000).

Siguiendo el esquema de la figura a1.2 de una planta con recirculación, la alimentación de la planta (SR a temperatura T_4) se calienta por el interior de los tubos en la Sección de Rechazo (Heat Reject Section, HJS), llamada así porque es donde se tira parte del calentamiento innecesario de la planta (agua bruta tirada CW a la temperatura T_6 en la figura a1.2). El resto del agua salada (llamado aporte o make-up, F) precalentada pasa por un desgasificador (que no aparece en la figura a1.2 por simplicidad) y se mezcla con una porción de la salmuera de la última etapa (la otra porción –purga o blowdown, BD- es tirada al mar como una purga de salmuera) para conseguir finalmente el caudal de recirculado R (a temperatura T_3 en la figura a1.2) que se precalienta en la Sección de Recuperación de calor (o comúnmente llamada Heat Recovery Section, HRS). Dicho caudal sale de esta sección (a una temperatura llamada T_2 en la figura a1.2) y se calienta hasta la temperatura de saturación (máxima temperatura de la salmuera, TBT. o T_1 en la figura a1.2) de la primera etapa de la sección de recuperación en el calentador de salmuera o Heat Input Section (HIS), un condensador que consume vapor generalmente proveniente de una planta de producción eléctrica (aunque también puede utilizarse cualquier vapor residual de un proceso industrial). Este caudal es evaporado súbitamente de forma sucesiva en las etapas en cascada de la sección de recuperación de calor y luego de la sección de rechazo. Cuando la temperatura de alimentación de la planta es menor de un límite (que implicaría provocar un vacío excesivo en la última etapa de la sección de rechazo) hay recirculación de agua (TP) para mantener como mínimo ese límite para una mejor operación (tampoco aparece por simplicidad en la figura a1.2). La figura a1.1 es mucho más sencilla que la correspondiente al no tener flujo de recirculación de salmuera.

Las dos secciones de recuperación antes mencionadas (HRS, HJS) recuperan en torno al 90% del calor necesario para la evaporación del agua, en torno a los 2.300 kJ/kg para presiones de operación cercanas a la atmosférica.

La circulación del vapor evaporado súbitamente dentro de una etapa puede verse en la sección transversal de una etapa cualquiera (tanto de la sección de recuperación como la de rechazo) mostrada en la figura a1.3, con el haz de tubos de condensado que contiene en su parte superior una extracción de gases no condensables, y los difuminadores de vapores a ambos lados del haz, que no permiten el paso de las burbujas que pudieran formarse en el proceso flash. Como puede desprenderse de esta figura, normalmente los intercambiadores-condensadores de las plantas MSF suelen ser de tipo horizontal, con los tubos de cada sección conectados en zig-zag a modo de un intercambiador de un número de pasos igual al número de etapas de la sección de recuperación y/o rechazo.

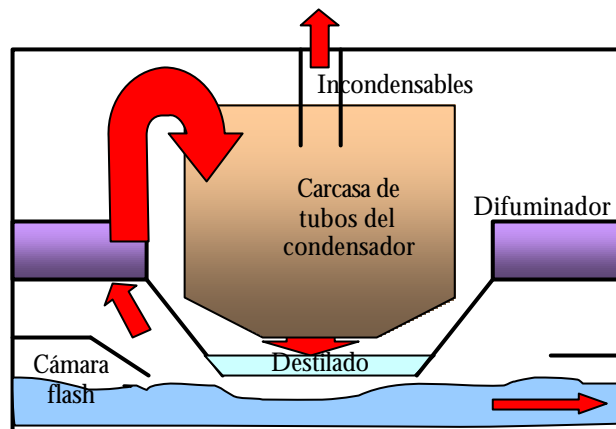
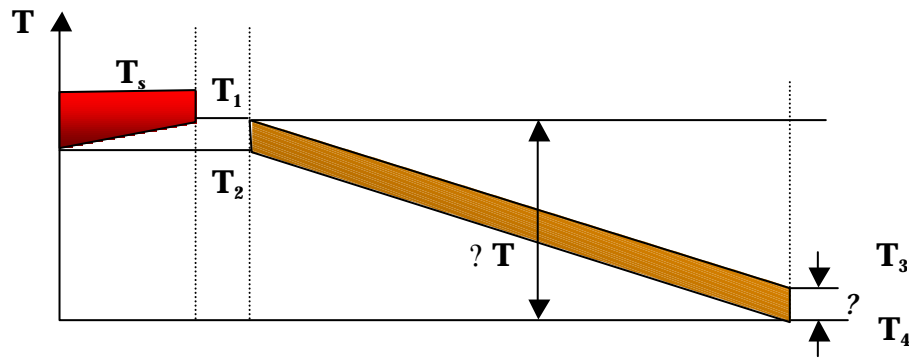
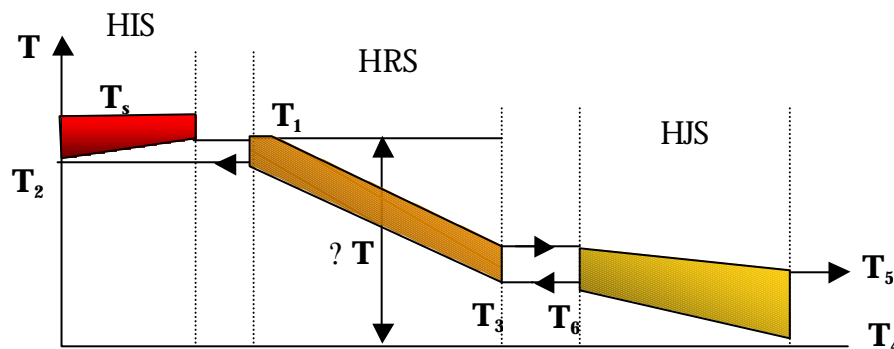


Figura a1.3. Sección transversal de una etapa de una MSF.
Fuente: Elaboración propia.



Perfil de temperatura MSF un solo paso



Perfil de temperatura MSF con recirculación

Figura a1.4. Perfiles de temperatura típicos en una planta MSF.

Fuente: Botero (2000).

Para plantas de recirculación, el caudal de reciclado suele ser 10 veces el caudal destilado, que a su vez es más o menos otras diez veces el caudal de vapor consumido por la planta desaladora. En una planta de un solo paso el flujo de alimentación suele ser también de un orden de magnitud mayor al del destilado producido. Pero la operación de la planta MSF se ve mucho más claramente en la figura 3, donde se ven los perfiles de temperatura de los tres flujos de la planta mientras circulan por las distintas secciones de la misma: salmuera fría, destilado y salmuera flash.

Aunque en la figura a1.4 pueda parecer que la diferencia de temperaturas entre la salmuera fría y la que evapora súbitamente es constante en todas las etapas de la HRS (y HJS), no es cierto en la realidad. En general, la diferencia de temperaturas en una etapa cualquiera consta de varios términos:

- ?? Diferencia de temperatura entre etapas ($?T$) es el calentamiento de cualquiera de los dos fluidos en la etapa.
- ?? Diferencia de temperaturas del condensador ($?T_c$) es la diferencia de temperatura debido a un intercambio de calor no ideal en el condensador, es decir, la salmuera interior nunca puede alcanzar la temperatura del vapor evaporado súbitamente, ya que eso implicaría un coeficiente de intercambio de calor infinito.

- ?? Caída de la presión en el difuminador de vapor. El paso por el difuminador supone unas pérdidas de carga traducidas a una diferencia de temperatura (ΔT_p).
- ?? Elevación del punto de ebullición del agua salada respecto del agua pura a una presión cualquiera (BPE), esta elevación suele ser menor de 1°C pero depende de la concentración del agua salada.
- ?? Situación de desequilibrio (NEA). La salmuera evaporada de forma súbita disminuye la presión al entrar en una nueva etapa; si estuviera siempre en ella llegaría a la temperatura de saturación y evaporaría súbitamente mucha más cantidad de la que realmente lo hace.

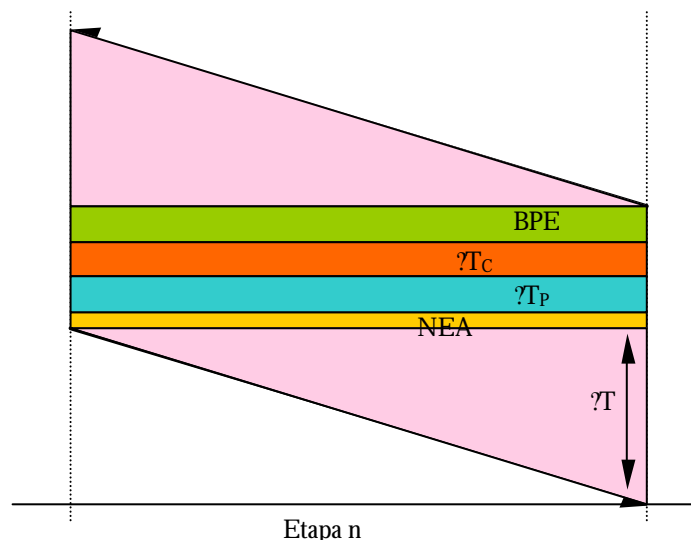


Figura a1.5. Diferencias de temperatura típicas en una etapa de una planta MSF.
Fuente: Handbury, Hogdkies y Morris (1993).

La operación de una planta MSF está limitada por dos temperaturas: la máxima temperatura del agua salada (TBT o T_1 en la figura a1.2 y figura a1.4) y la temperatura de la última etapa. La TBT depende de la calidad del vapor suministrado externamente, de la prevención de la formación de depósitos de naturaleza calcárea (fenómeno de 'scaling') y de la concentración de esa agua y el tipo de sales disueltas en ella. Sin embargo, en la temperatura de la última etapa (T_5 en dichas figuras) influyen sólo la temperatura de entrada del agua de mar y de la presión que el sistema de vacío puede mantener en esta etapa. Su diferencia se define como el margen de operación de la planta (vulgarmente conocido como ΔT), y es el responsable de la cantidad de destilado producida en la misma.

El parámetro de operación básico de una MSF es el GOR (Gain Output Ratio, o toneladas de agua dulce producidas por toneladas de vapor consumido), una medida del consumo energético de naturaleza térmica necesario en estas plantas. En la práctica un GOR de 12 es el límite. **Es un parámetro que da una idea de cantidad de energía recuperada en el proceso de evaporación de las cámaras flash, y por lo tanto debe ser lo más alto posible.** La producción depende lógicamente del caudal de agua bruta introducida y del salto térmico ΔT disponible (la diferencia entre las 2 temperaturas antes comentadas). Teóricamente el número de etapas no es influyente para un GOR dado, pero el número de etapas determina el área de intercambio de calor y por lo tanto para una producción dada se necesita un número de etapas más o menos fijo. Normalmente, 20 etapas es normal para este tipo de plantas, con una diferencia entre etapas de unos 3°C . El ratio de

funcionamiento (PR, a veces mal llamado GOR, se diferencian en que el PR tiene normalizado el calor latente de vaporización del vapor consumido), un PR de 8 suele ser normal en plantas convencionales. Una variable similar a las anteriores es el consumo específico (NC) o aporte de energía por kg. de agua destilada producida (en kJ/kg). Como puede suponerse, el ratio de funcionamiento aumenta con el margen de temperaturas de operación (ΔT , la diferencia entre la TBT y el agua de alimentación T_d), aunque ambas temperaturas están limitadas por la formación de depósitos calcáreos y por el ambiente respectivamente. La superficie de intercambio y la suciedad de los tubos también son factores a tener muy en cuenta en los índices de operación de la MSF.

La capacidad de este tipo de plantas es muy grande. Teniendo en cuenta la limitación de una temperatura máxima de la salmuera calentada de 120° C por el fenómeno de scaling, el margen de temperaturas de operación ΔT puede llegar a los 90° C. Haciendo circular gran cantidad de agua salada por los tubos y dimensionando la planta eléctrica (turbina de vapor, turbina de gas o ciclo combinado) para que nos proporcione en cada momento el vapor suficiente y en las condiciones requeridas, se pueden llegar a unidades de mas de 50.000 m³/día. **Un ejemplo de ello es la planta de Al Taweelah B, construida en el año 1996 con 6 unidades gemelas MSF de 57.600 m³/día permitiendo el abastecimiento del equivalente a 900.000 personas.**



Figura a1.6. Fotografía de la planta Al Taweelah B (Abu Dhabi, Emiratos Arabes Unidos).
Fuente: Italimpianti (1996).

ANEXO 2. Evaporadores de las plantas MED-TVC.

La mayoría de las plantas MED-TVC contienen evaporadores horizontales (Horizontal Falling Film, HFF), en los cuales la salmuera se deja caer en forma de fina película a través de unas duchas situadas en la parte superior de cada efecto. Pero también existen en el mercado dos tipos de evaporadores de tubos verticales (VTE). Los primeros son los llamados normalmente VFF (Vertical Falling Film), en los cuales una delgada película de agua salada va cayendo por el interior de los tubos hasta evaporarse parte de la misma, condensándose el vapor generado de la etapa anterior en el exterior de los tubos (ver figura a2.1). En general, su eficiencia es mayor que los de tubos horizontales pero su coste también lo es, ya que necesitan menor superficie de intercambio para producir la misma cantidad de destilado. Finalmente también existen los evaporadores VRF (Vertical Rising Film), en los cuales la ebullición se produce de forma gradual dentro de los tubos y la condensación por su parte exterior. Este tipo de intercambiadores han dejado de utilizarse debido a los problemas que acarrea en el control del régimen de flujo interior en el proceso de evaporación.

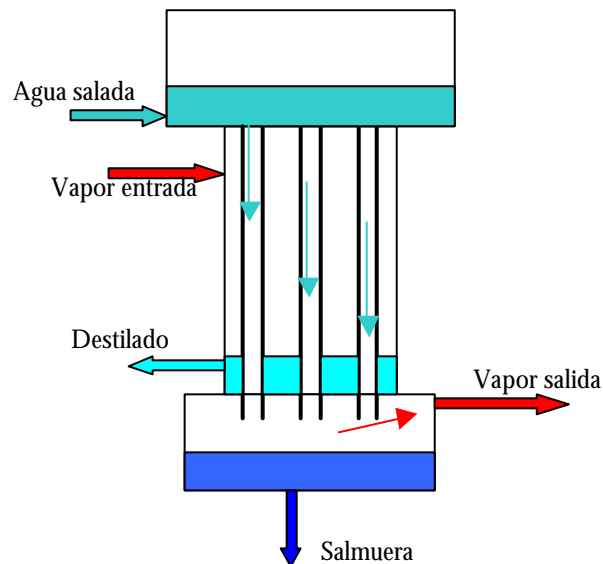


Figura a2.1. Proceso MED-TVC con evaporador de tubos verticales VFF.
Fuente: Artal (2000).

ANEXO 3. Instalaciones de ósmosis inversa.

A3.1. Ecuaciones básicas y parámetros característicos

Los parámetros básicos de una planta de ósmosis inversa se introducen para un caso básico (Fariñas, 1999). La figura a3.1 muestra la configuración básica del esquema de flujos de una membrana de ósmosis inversa, que consta de tres flujos principales: alimentación de agua bruta previamente presurizada por la bomba de alta presión (subíndice a), permeado de baja concentración de sales (subíndice p) y flujo concentrado de rechazo (subíndice r). De aquí en adelante, la inicial Q significa caudal, la C concentración salina, P es la presión absoluta y π es la presión osmótica de una solución salina.

Porcentaje de recuperación (Y): Cociente en tanto por ciento del caudal de permeado obtenido en función del de alimentación.

$$Y = \frac{\text{Caudal permeado}}{\text{Caudal alimentación}} \cdot 100 = \frac{Q_p}{Q_a} \cdot 100 \quad (\text{a3.1})$$

Este porcentaje varía lógicamente en función de la calidad del agua bruta introducida, siendo de un 35 a un 50% en el caso de aguas marinas y mucho mayor en el caso de aguas salobres, hasta el 80% de conversión.

Porcentaje de rechazo de sales (R): Cociente porcentual entre la concentración eliminada y la concentración de aporte en la membrana.

$$R = \frac{C_a - C_p}{C_a} \cdot 100 \quad (\text{a3.2})$$

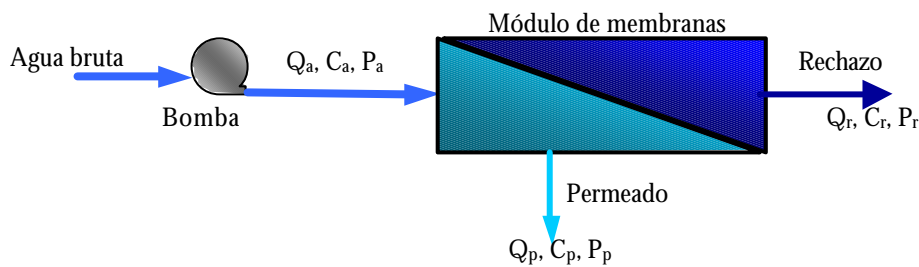


Figura a3.1. Esquema de flujos de una membrana de ósmosis inversa.
Fuente: Fariñas (1999).

El porcentaje de rechazo de las membranas puede superar el 99%, con lo cual la concentración del permeado baja de las 500 ppm. de TDS en cualquier caso.

Porcentaje de paso de sales (PS): Cociente en tanto por ciento de la concentración producto y la concentración inicial.

$$PS = \frac{C_p}{C_a} \cdot 100 = 100 - R \quad (\text{a3.3})$$

Como consecuencia de lo explicado anteriormente, el porcentaje de paso de sales en una membrana de ósmosis inversa es siempre menor del 1%.

Factor de concentración (F): Es el cociente entre las concentraciones del rechazo y de aportación.

$$F = \frac{C_r}{C_a} \quad (\text{a3.4})$$

Este factor es relación directa con el porcentaje de recuperación de la membrana, a través del balance de materia de la misma. Un valor mayor de 1.5 es lógico en membranas de agua marina, y puede llegar a 4 en el caso de aguas salobres.

Las concentraciones del producto y del rechazo pueden también calcularse en función de parámetros definidos anteriormente:

$$C_p = (1 - R) \cdot (C_a + C_p) / 2 \quad (\text{a3.5})$$

$$C_r = R \cdot C_a / (1 - Y) \quad (\text{a3.6})$$

Las ecuaciones básicas que rigen el comportamiento del proceso son:

Balance de agua:

$$Q_a = Q_p + Q_r \quad (\text{a3.7})$$

Para una instalación de ósmosis inversa de agua marina con 10.000 m³/día de capacidad, suponiendo una conversión del 45% tenemos 4.500 m³/día de permeado y 5.500 m³/día de rechazo.

Balance de sal:

$$C_a \cdot Q_a = C_p \cdot Q_p + C_r \cdot Q_r \quad (\text{a3.8})$$

Siguiendo el ejemplo anterior (una conversión del 45%), si la concentración del permeado obtenida fuera de 300 ppm, y la concentración del agua marina a la entrada de la instalación de OI es de 35.000 ppm de TDS, el concentrado de la salmuera tirada al mar es de 63.400 ppm de total de sólidos disueltos.

Ecuación de flujo de solvente (agua):

El caudal por unidad de superficie J_a se comprueba que es proporcional al gradiente de presión efectiva aplicada a la membrana, es decir, restando la presión osmótica que sufre la membrana con dos soluciones de distinta concentración.

$$J_a = A \cdot (P - \pi) \quad (\text{a3.9})$$

A es el coeficiente de permeabilidad al solvente típico de la membrana, de valor típico cercano a 0.02 m³/d m² bar, P es la diferencia de presión entre los lados de la membrana y la diferencia de presión osmótica π entre dichos lados de la membrana. Como se ha

comentando anteriormente, es necesaria una diferencia de presión ΔP mucho mayor que la osmótica $\Delta \pi$ (nunca mayor de 30 bar para la concentración del agua de mar mediterránea) para poder obtener permeado, con lo que la diferencia entre ambas puede llegar a ser mayor de 40 bar para aguas marinas.

Ecuación de flujo de soluto (sales):

El flujo de soluto J_s a través de la membrana es la suma de dos contribuciones. La primera es la contribución de la difusión molecular de naturaleza proporcional al gradiente de concentraciones a ambos lados de la membrana ΔC , y la segunda se debe al fenómeno de arrastre del solvente.

$$J_s = B \cdot (C_m - C_p) + M \cdot J_a \cdot C_m \tag{a3.10}$$

B es el coeficiente de permeabilidad de la membrana al soluto, cuyo valor típico puede ser 0.003 m³/d m², M es un coeficiente de acoplamiento de valor 0.005 para todas las membranas. C_m es la concentración del soluto en la superficie de la membrana, que puede calcularse dividiendo las ecuaciones anteriores:

$$C_p = \frac{J_s}{J_a} = \frac{B \cdot C}{A \cdot (\Delta P - \Delta \pi)} + M \cdot C_m \tag{a3.11}$$

Hay que tener en cuenta que el fenómeno de polarización que sufren todas las membranas, debido a la baja velocidad de la solución aportada en sus cercanías, hace incrementar el valor de la concentración C_m con respecto a la concentración media de la solución aportada C_{ma} , de valor $(C_a + C_r)/2$.

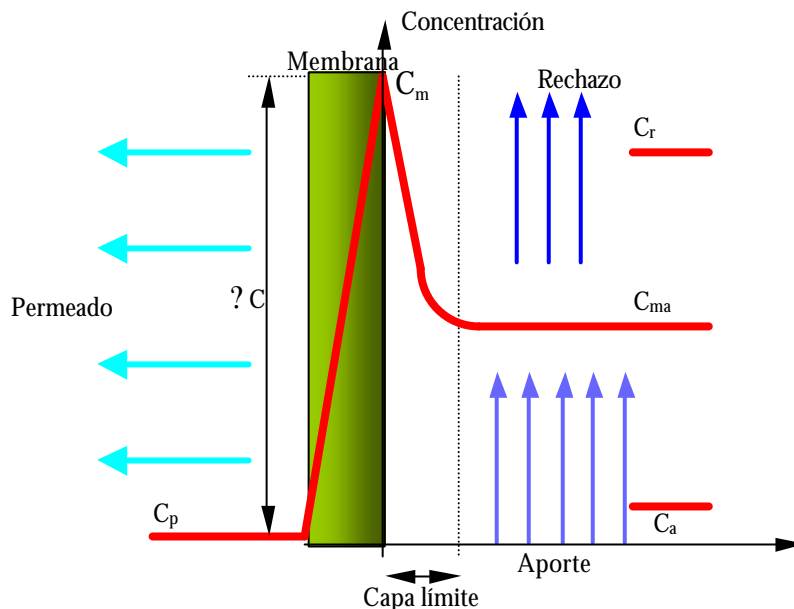


Figura a3.2. Fenómeno de polarización y distribución de concentraciones alrededor de la membrana en el proceso de OI.
Fuente: Fariñas (1999).

A3.2. Membranas y su agrupación.

Todos estos parámetros anteriormente citados y constantes dependen del tipo de membrana empleado. **Las membranas que se fabrican actualmente se montan dentro de tubos horizontales de diámetros normalizados llamados módulos, para mejorar su rendimiento y la limpieza, minimizar la polarización, hacerlos más compactos y facilitar su sustitución.** Existen dos tipos de membranas contenidas en estos módulos: de fibra hueca y de arrollamiento en espiral, diseñados ambos para contener el fluido en alta presión en el menor volumen para una superficie de membrana dado.

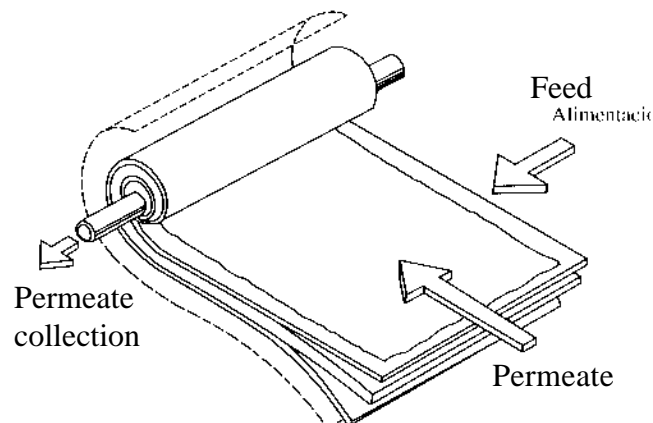


Figura a3.3. Membrana de ósmosis inversa de arrollamiento en espiral.
Fuente: Artal (2000).

Las membranas de espiral están arrolladas en torno a un tubo central perforado que recoge el producto; el agua salada circula en canales separados en una dirección, estos elementos tienen de 30 a 120 cm de largo y de 10 a 30 cm. de diámetro; pueden montarse en tubos telescópicos entre elementos adyacentes para formar módulos, que pueden conectarse en serie ó paralelo. Las membranas de fibra hueca contienen un gran número de ellas tan finas como el pelo humano con su punta pegada a una resina epoxy y mantenidos en una vasija a presión. El agua salada presurizada circula por fuera de las fibras mientras el filtrado circula por el interior de las mismas hacia el final de la fibra donde se recoge el permeado de los miles de fibras; contienen más superficie por unidad de volumen que las espirales, por lo que suelen ser más usadas que las anteriores.

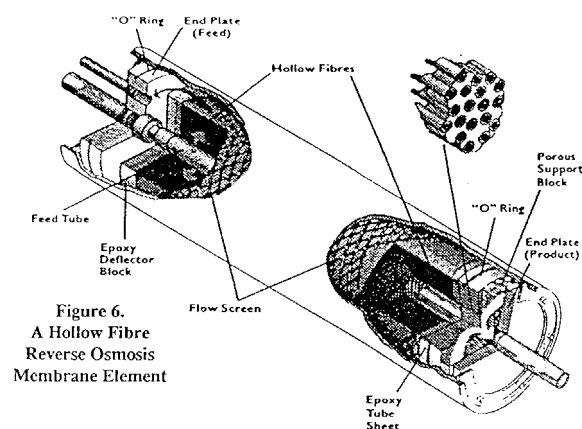


Figura a3.4. Membranas de fibra hueca en instalaciones de ósmosis inversa.
Fuente: Artal (2000).

Las diferencias principales entre los dos tipos de membranas se pueden resumir en estos puntos (Medina, 2000):

- ?? Las membranas de fibra hueca tienen más capacidad ya que ocupan mucha más superficie en el mismo volumen de módulo, aunque sean menos permeables.
- ?? Las de fibra hueca necesitan mayor presión para operar que las de espiral, con lo que su consumo es también mayor.
- ?? La mayor compactación de las membranas de fibra hueca presupone una mayor posibilidad de ensuciamiento de las mismas, con lo que ello conlleva (mejor pretatamiento y sistemas de limpieza).
- ?? El porcentaje de rechazo de las membranas de fibra hueca suele ser ligeramente menor a las de arrollamiento en espiral, aunque siempre mayor del 99%.

Los fabricantes de membranas en el mundo son muy escasos (dos japoneses y cinco norteamericanos): Toray, Hydranautics, Fluid Systems, Filmtec-Dow, Desal Nitto-Denko y Trisep.

Los módulos suelen agruparse en paralelo, constituyendo una etapa el conjunto de los mismos unidos a una bomba. Normalmente se conectan y al rechazo de la etapa anterior (en serie por lo tanto) una cantidad menor de módulos en una segunda etapa para recoger el máximo posible de permeado. En el caso de una calidad alta requerida del producto puede ser necesario permear en la segunda etapa el producto de la primera, con lo que necesitamos una nueva bomba, constituyendo en este caso el segundo paso de la instalación.

A3.3. Equipos de alta presión.

El sistema de bombeo es el segundo elemento a destacar en esta instalación. Existen gran variedad de bombas de impulsión, con dos tipos diferenciados: de desplazamiento positivo (helicoidales o de pistón), o centrífugas (de segmentos, de cámara partida, verticales). Su elección depende del caudal, presión y rendimiento requerido para la misma.

A3.4. Sistemas de recuperación de energía.

Los diferentes sistemas de recuperación de energía más utilizados o de reciente aparición son los siguientes:

- ?? Utilización de turbinas Pelton convencionales o Francis, acopladas al eje del motor de la bomba. Existen equipos integrados que contienen los dos elementos. El ahorro medio conseguido es del 40% (Calder, 1999).
- ?? Introducción de turbinas de contrapresión, o más bien bombas centrífugas que pueden girar en sentido inverso aprovechando la presión de la salmuera y van por lo tanto de forma integrada en el grupo de alta presión (Fariñas, 1999).
- ?? Uso de un intercambiador de presión (PE) o también conversor hidráulico centrífugo, que por el principio del desplazamiento positivo presuriza parte del agua bruta con la salmuera a presión rechazada en el proceso y permite ahorros de hasta el 50-65% del consumo (Andrews y Shumway, 1999).

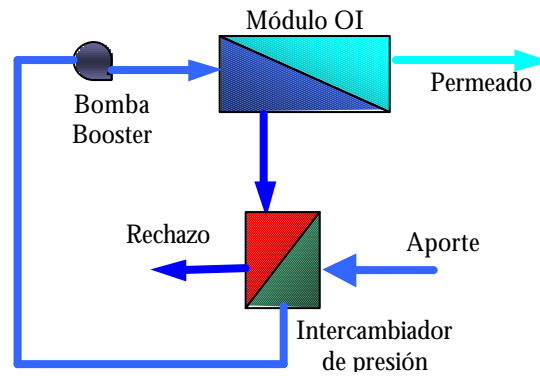


Figura a3.5. Esquema de un proceso de OI con intercambiador de presión (PE).

Fuente: Elaboración propia.

- ?? Uso de convertidores hidráulicos dinámicos o cámaras isobáricas, que por el carácter incompresible de los líquidos y la utilización de un conjunto de válvulas transmiten la presión al agua de alimentación de la salmuera de rechazo.
- ?? Aprovechamiento de la presión del rechazo para instalar un segundo paso de membranas que soporten muy altas presiones (> 90 bar), con la ayuda de una bomba Booster para salvar la diferencia de presiones osmóticas generada en ese segundo paso (Pérez, 2000).

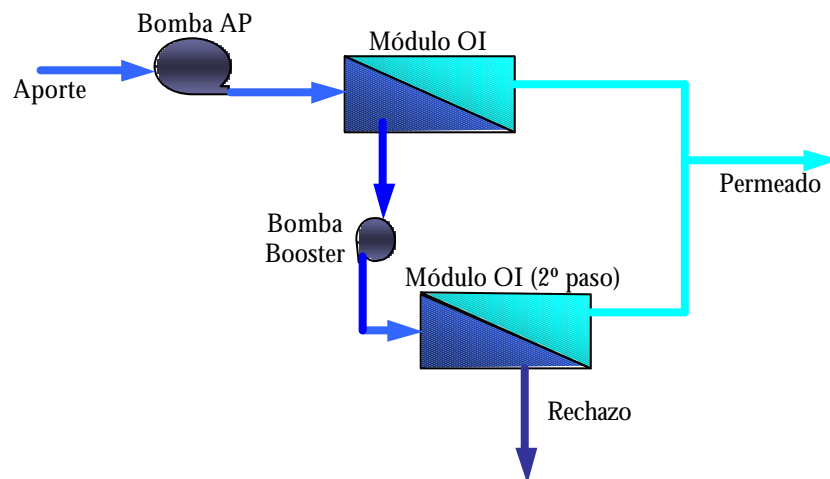


Figura a3.6. Esquema de instalación de un segundo paso para aprovechar la presión de salmuera.

Fuente: Elaboración propia.

DIRECCIONES DE INTERÉS.

CEDEX (Centro de Estudios y Experimentaciones del Ministerio de Fomento). Organismo encargado de la adjudicación de las plantas desaladoras calificadas de interés general para el Estado.

Paseo Virgen del Puerto, 3.
28005 Madrid
Tel: 00 34 91 335 80 05.
Fax: 00 34 91 335 79 94.
E-mail: miguel.torres@cedex.es

AEDyR (Asociación Española de Desalación y Reutilización). Asociación de carácter comercial fundada en 1997 que engloba a los principales proveedores de membranas y empresas instaladoras en el ámbito de la desalación. Su primer congreso se realizó los días 28-29 de Noviembre de este año.

Paseo Virgen del Puerto, 3.
28005 Madrid
Tel: 00 34 91 335 80 05.
Fax: 00 34 91 335 79 94.
E-mail: jamedina@cedex.es

IDA (International Desalination Association). Asociación Internacional de Desalación. Engloba a empresas y también todo tipo de organismos científicos. Celebra su congreso de forma bianual, el próximo se celebrará en Bahrein en el año 2.001.

P. O. Box 387, Topsfield, MA 01983 USA
Tel: 00 1 978 887 04 10.
Fax: 00 1 978 887 04 11.
E-mail: ida1pab@ix.netcom.com
Web site: www.ida.bm

EDS (European Desalination Society). Asociación Europea de la Desalación. De carácter similar a la IDA, celebra su congreso bianual también en años impares. El último se realizó en Noviembre de 1.999 en Las Palmas, y la próxima será en Mayo de 2.001 en Chipre.

Science and Technology Park of Abruzzo
Via Antica Arischia 1
67100 L'Aquila, Italy
Tel: 00 39 0862 3475 308.
Fax: 00 39 0862 3475 213
E-mail: miriam.balaban@aquila.infn.it

ABREVIATURAS.

ACV – Análisis del Ciclo de Vida.
AEDyR – Asociación Española de Desalación y Reutilización
ARU – Aguas Residuales Urbanas.
BD – BlowDown (salmuera rechazada en la MSF).
BPE – Boiling Point Elevation (elevación del punto de ebullición del agua salada).
CE – Conductividad Eléctrica.
CEE – Comunidad Económica Europea.
CV – Vapor Compression (compresión mecánica de vapor).
CW – Cooling Water to reject (agua bruta precalentada en la HJS tirada al mar en la MSF).
ED – ElectroDiálisis.
EDAM – Estación Desaladora de Agua de Mar.
EDAR – Estación Depuradora de Aguas Residuales.
EDAS – Estación Desaladora de Aguas Salobres.
EDR – Reversal ElectroDiálisis (electrodialisis reversible).
EIA – Evaluación Impacto Ambiental.
ERP – Estación Reductora de Presión.
F – Make-up Feed (salmuera precalentada que se mezcla con el rechazo en la MSF).
GOR – Gain Output Ratio (ratio de ganancia en los destiladores).
HFF – Horizontal Falling Film (evaporador de tubos horizontales con spray).
HIS – Heat Input Section (sección de aporte de calor).
HJS – Heat reJect Section (1ª sección de precalentamiento en la MSF).
HRS – Heat Recovery Section (2ª sección de precalentamiento en la MSF).
MED – Multi-Effect Distillation (destilación por múltiple efecto).
MENA – Middle East and North Africa region (región de Oriente Medio y norte de Africa).
MF – MicroFiltración.
MGD – Million Gallons per Day (millones de galones diarios).
MIMAM – MInisterio de Medio AMbiente.
MSF – Multi Stage Flash distillation (destilación súbita por efecto flash).
NC – Net Consumption (consumo energético por destilado producido).
NEA – Non-Equilibrium Allowance (desequilibrio en la cámara flash).
NF – NanoFiltración.
NTU – Number of Turbidity Units (número de unidades de turbidez).
OI – Ósmosis Inversa.
OMS – Organización Mundial de la Salud.
OyM – Operación y Mantenimiento.
OPEP – Organización Países Exporadores de Petróleo.
PE – Pressure Exchanger (intercambiador de presión).
PHC – Plan Hidrológico de Cuenca
PHN – Plan Hidrológico Nacional 2000.
PR – Performance Ratio (ratio de funcionamiento en la MSF).
PTC – Parabollic Through Collector (colector de concentración parabólica).
R – Recicled brine (Salmuera de recirculación en la MSF).
REE – Rendimiento Eléctrico Equivalente.
RET – RETribución obtenida por el kW·h en régimen de cogeneración.
SDI – Índice de atascamiento.
SF – Solar Factor (factor solar).
SR – Seawater to Reject section (agua bruta aportada a la MSF).
TBT – Top Brine Temperature (temperatura máxima de la salmuera).

TDS – Total Dissolved Solids (total de sólidos disueltos).
TP – TemPer water (agua de templado en la MSF).
TVC – Thermal Vapor Compression (compresión térmica de vapor).
UAE – United Arab Emirates (Emiratos Árabes Unidos).
UF – UltraFiltración.
USA – United States of America (Estados Unidos de América).
UV – UltraVioleta.
VFF – Vertical Falling Film (evaporador de tubos verticales en película).
VRF – Vertical Rising Film (evaporador ascendente de tubos verticales).
VTE – Vertical Tube Evaporator (evaporador de tubos verticales).

BIBLIOGRAFÍA Y DOCUMENTACIÓN.

1. Abu Qdais, H. A. (1999) *Environmental Impacts of Desalination Plants on the Arabian Gulf*. IDA World Congress on Desalination and Water Reuse. San Diego, USA, 1999.
2. Afgan, N. H., Darwish, M., Carvalho, M. G. (1999) *Sustainability Assessment of Desalination Plants for Water Production*. Desalination 124, pp. 19-32.
3. Alawadhi, A. A. (1999) *Regional Report on Desalination*. IDA World Congress on Desalination and Water Reuse. San Diego, USA.
4. 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.
5. Al-Shammiri, M., Safar, M. (1999) *Multi-effect Distillation Plants: State of the Art*. Desalination 126, pp. 45-99.
6. Andrews, T., Shumway, S. A. (1999). *Design Study of a 20,000 m³/day Seawater Reverse Osmosis Work Exchanger Energy Recovery System*. IDA World Congress on Desalination and Water Reuse. San Diego, USA.
7. Barendsen, W. C., Moch, I. (1999). *Privatization of Seawater Reverse Osmosis Plants in Antigua*. IDA World Congress on Desalination and Water Reuse. San Diego, USA.
8. Botero, E. (2000) *Valoración exergética de los recursos naturales*. Tesis Doctoral. Departamento de Ingeniería Mecánica. Universidad de Zaragoza.
9. Calder (1999). *Pelton Wheel Energy Recovery Turbines*. Comunicación privada.
10. Cánovas, J. (2000) *Agricultura y desalación en la cuenca del Segura*. I Congreso AEDyR, Murcia.
11. Cortés, T. (2000) *Aprovechamiento integral directo de efluentes depurados en la comarca de Campo de Dalías*. I Congreso AEDyR, Murcia.
12. De Armas, J. C., Pérez, J. L., von Gottberg, A. J. M. (1999). *Desalination of Municipal Sewage Effluent with Electrodialysis Reversal in Tenerife*. IDA World Congress on Desalination and Water Reuse. San Diego, USA.
13. Echaniz, J., Rodero, A., Sallangos, O., Santamaria F. J. (1997). *Dhekelia (Cyprus) Seawater Desalination Plant Design, Construction and Commissioning of the 20,000 m³/day R.O. Plant*. IDA World Congress on Desalination and Water Reuse. Madrid, España. Vol. II, pp. 371-392.
14. El-Nashar, A. M. (1999). *Cost Allocation in a Cogeneration Plant for the Production of Power and Desalted Water – Comparison of the Exergy Cost Accounting Method with the WEA Method*. Comunicación privada.
15. El-Sayed, Y. M., Silver, R. S. (1980). *Fundamentals of Distillation*. Academic Press Inc.

16. Fariñas, M. (1999) *Ósmosis Inversa. Fundamentos, tecnología y aplicaciones*. Ed. McGraw Hill, 1999.
17. García, L. y Gómez, C. (2000) *Perspectives of Solar Assisted Seawater Desalination*. I Euromed Conference (EDS), Jerba (Túnez).
18. García, L. (1999) *Conditions for Economical Benefits of the Use of Solar Energy in Multistage Flash Distillation*. Desalination 125, pp. 133-138.
19. García, L., Palmero, A. I., Gómez, C. (1999). *Application of Direct Steam Generation into a Solar Parabolic Trough Collector to Multi-effect Distillation*. Desalination 125, pp. 139-145.
20. Gleick, P. H. (1998). *The World's Water – The Biennial Report on Freshwater Resources, 1998/1999*. Island Press. Washington DC.
21. Goto, T., MacCormick, T., Congjie, G., Guoling, R., Chung Y.-T. (1999). *Overview of Desalination in the Pacific Region*. IDA World Congress on Desalination and Water Reuse. San Diego, USA.
22. Hanbury, W. T., Hodgkiess, T., Morris, R. (1993). *Desalination Technology 93. An Intensive Course*. Porthan Ltd., Easter Auchinloch. Lenzie, Glasgow, UK.
23. Hawaii University (2000). *Membrane Water Treatment Plants Inventory*.
24. Hernández, M. (2000) *El consumo de agua desalada en el sector turístico de Canarias*. I Congreso AEDyR, Murcia.
25. Intermón (1998) *Relaciones Norte-Sur. Conceptos clave*. Dossiers para entender el mundo. Ed. Octaedro.
26. Italimpianti (1999) *Water Desalination Plants*. Comunicación privada
27. Kronenberg, G., Dvornikov, V. (1999). *Fuel Cost of Water (FCW) in Dual Plants*. IDA World Congress on Desalination and Water Reuse. San Diego, USA.
28. Lanz, K. (1997). *El Libro del Agua*. Ed. Debate, S. A.
29. Latorre, M. (2000) *Evacuación de salmueras. Aspectos medioambientales*. I Congreso AEDyR, Murcia.
30. Martínez, L., Florido, F. J. y Vázquez, M. I. (1999). *Study of evaporator efficiency in membrane distillation*. EDS Congress on Desalination and the Environment, Las Palmas, pp. 193-198.
31. Martínez, M. J. (2000) *Procedimientos de EIA para proyectos de desalación de agua marina o salobre*. I Congreso AEDyR, Murcia.
32. Martínez, J. (2000) *Experiencias en planta piloto sobre tratamientos avanzados de reutilización de aguas residuales urbanas*. I Congreso AEDyR, Murcia.
33. Medina, J. A. (2000). *Desalación de Aguas Salobres y de Mar. Ósmosis Inversa*. Ed. Mundi-Prensa.

34. Medina, J. A. (2000). *Instalaciones de desalación para la agricultura, su futuro*. I Congreso AEDyR, Murcia.
35. Ministerio de Medio Ambiente (2000). *Documentos del Plan Hidrológico Nacional*.
36. Monasterio, R., Hernández, P. y Saiz, J. (1993) *Compresión Mecánica de Vapor*. Ed. McGraw Hill.
37. Ophir, A., Gendel, A. (1999). *Development of the World's Largest Multi-Effect Mechanical Vapor Compression (M.E.M.V.C.) Desalination Plants*. Proceedings of the IDA World Congress on Desalination and Water Reuse. San Diego, USA.
38. Pérez, J. (2000) *La concentración de salmuera en el diseño de plantas desaladoras de agua de mar*. I Congreso AEDyR, Murcia.
39. Pérez, J. (2000) *Desalación de aguas residuales con alta carga orgánica*. I Congreso AEDyR, Murcia.
40. Ponce, S. L., Jankel, L. H. (1999). *The Value of Water in the 21st Century – Impact on U.S. Desalination*. IDA World Congress on Desalination and Water Reuse. San Diego, USA.
41. Prabhakar, S., Hanra, M. S., Misra, B. M., Sadhukan, H. K. (1997). *Small Desalination Units to Provide Safe Drinking Water in Remote Rural Areas in India*. IDA World Congress on Desalination and Water Reuse. Madrid, España. Vol. I, pp. 3-16.
42. Prats, D. (2000). *Reutilización de aguas residuales. Calidad requerida y costes asociados*. I Congreso AEDyR, Murcia.
43. Rubio, M. (2000) *Tratamiento de aguas superficiales procedentes de drenajes para su uso agrícola, aspectos técnicos y económicos*. I Congreso AEDyR, Murcia.
44. Rueda, J. A., Zorrilla, J., Bernaola, F. y Hervás, J.A. (2000). *Calidad del agua desalada dedicada al consumo humano*. I Congreso AEDyR, Murcia.
45. Ruiz, A. (2000) *El vertido al mar de las aguas de rechazo de las plantas desaladoras*. I Congreso AEDyR.
46. Sanz, M. (2000) *La desalación de agua de mar por Osmosis Inversa. Caso práctico: I.D.A.M. de Bahía de Palma*. I Congreso AEDyR, Murcia.
47. Shiklomanov, I. (1999) *World Water Resources: Modern Assessment and Outlook for 21-st Century*. Hydrological Institute, San Petersburgo.
48. Spiegler, K. S., El-Sayed, Y. M. (1994). *A Desalination Primer*. Balaban Desalination Publications. Italy.
49. Torres, M., Medina, J. A. (1999). *Desalination in Spain, a Race for Lowering Power Consumption*. IDA World Congress on Desalination and Water Reuse. San Diego, USA.
50. Torres, M. (1999) *La desalación de agua de mar. Tecnologías de vanguardia*. Informe privado.

51. Uche, J. (2000) *Análisis Termoeconómico y simulación de una planta combinada de producción de agua y energía*. Tesis doctoral. Departamento de Ingeniería Mecánica. Universidad de Zaragoza.
52. Wangnick, K. (1998). *1998 IDA Worldwide Desalting Plants Inventory Report N° 15*.
53. Wangnick Company (2000). *Future Desalination Project Worldwide*.
54. Watermark (MEDRC Newsletter) (2000). *The Changing Image of Desalination*. Issue 10, September 2000.
55. Wesson, W. (2000). *Un nuevo recuperador de energía rompe la barrera conceptual de la ósmosis inversa*. I Congreso AEDyR, Murcia.
56. World Resources Institute (1999). *World Resources*.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1. Recursos globales de la Tierra.

Figura 2.2. Ciclo hidrológico del agua en la Tierra.

Figura 3.1. Esquema de un proceso de desalación

Figura 4.1 Esquema de una planta de evaporación súbita por efecto flash.

Figura 4.2. Destilación múltiple efecto (MED) con evaporadores horizontales (HFF).

Figura 4.3. Esquema típico del termocompresor acoplado a una planta TVC con HFF.

Figura 4.4. Esquema de un colector solar para destilación.

Figura 4.5. Diagrama de la compresión de vapor (CV) con evaporador de tubos verticales (VTE).

Figura 4.6. Proceso natural de ósmosis.

Figura 4.7. Proceso de ósmosis inversa.

Figura 4.8. Desalación por ósmosis inversa (OI) con turbina Pelton incorporada.

Figura 4.9. Proceso de electrodiálisis.

Figura 9.1. Disposiciones posibles de plantas duales de producción de agua y electricidad.

Figura 9.2. Esquema de producción individual y conjunta de electricidad/agua en una planta dual.

Figura 9.3. Costes totales del agua desalada con tecnologías evaporativas consumiendo carbón en la planta dual.

Figura 9.4. Esquema híbrido de cogeneración ciclo combinado-MED con módulos de OI.

Figura 11.1. Esquema de una planta de abastecimiento integral de aguas saladas y residuales.

Figura a1.1. Descripción general de una planta MSF sin recirculación de salmuera.

Figura a1.2. Esquema de una planta MSF con recirculación.

Figura a1.3. Sección transversal de una etapa de una MSF.

Figura a1.4. Perfiles de temperaturas típicos en una planta MSF.

Figura a1.5. Diferencias de temperatura típicas en una etapa de una planta MSF.

Figura a1.6. Fotografía de la planta Al Taweelah B (Abu Dhabi, Emiratos Árabes Unidos).

Figura a2.1. Proceso MED con evaporador de tubos verticales VFF.

Figura a3.1. Esquema de flujos de una membrana de ósmosis inversa.

Figura a3.2. Fenómeno de polarización y distribución de concentraciones alrededor de la membrana en el proceso de OI.

Figura a3.3. Membrana de ósmosis inversa de arrollamiento en espiral.

Figura a3.4. Membranas de fibra hueca en instalaciones de ósmosis inversa.

Figura a3.5. Esquema de un proceso de OI con intercambiador de presión (PE).

Figura a3.6. Esquema de instalación de un 2º paso para aprovechar la presión de salmuera.

LISTA DE TABLAS

Tabla 2.1. Consumo hídrico per cápita por continentes y en España.

Tabla 2.2. Recursos hídricos anuales renovables y per cápita de diferentes países y por continentes.

Tabla 4.1. Métodos de desalación existentes en el mercado.

Tabla 4.2. Valoración de diferentes características deseables para los métodos de desalación existentes en el mercado.

Tabla 5.1. Rangos de salinidad de los diferentes tipos de agua.

Tabla 5.2. Salinidad media de los mares y océanos principales del planeta.

Tabla 5.3. Proceso desalador a aplicar en función del tipo de agua bruta.

Tabla 5.4. Comparativa de parámetros más significativos del agua según normas o estándares actuales.

Tabla 5.5. Calidad media del agua obtenida por diferentes procesos de desalación.

Tabla 6.1. Primeras instalaciones desaladoras en España.

Tabla 6.2. Plantas desaladoras instaladas en España tras la 1ª crisis del petróleo (1973).

Tabla 6.3. Plantas desaladoras instaladas en España en la década de los 80.

Tabla 6.4. Plantas desaladoras instaladas en España en la década de los 90. Datos hasta el año 1997.

Tabla 7.1. Capacidad instalada ($\text{m}^3/\text{día}$) en la región MENA desglosada por técnicas de desalación.

Tabla 7.2. Algunas de las plantas de desalación de USA instaladas.

Tabla 7.3. Instalaciones desaladoras en el área del Pacífico, datos de 1998.

Tabla 7.4. Proyectos de instalación de unidades desaladoras en el mundo.

Tabla 7.5. Agua desalada en España durante el año 1998 y sus usos.

Tabla 7.6. Instalaciones actuales de plantas desaladoras de agua marina de más de $3.000 \text{ m}^3/\text{día}$.

Tabla 7.7. Instalaciones actuales de plantas desaladoras de agua salobre de más de $3.000 \text{ m}^3/\text{día}$.

Tabla 7.8. Nuevas plantas desaladoras previstas de ejecución inminente.

Tabla 9.1. Consumo energético primario en la producción de plantas duales MSF orientativo en función del modo de operación.

Tabla 9.2. Coste del combustible para desalación de agua de mar (ptas/m^3) en función de su naturaleza.

Tabla 9.3. Coste del consumo eléctrico de las plantas MSF, MED y CV.

Tabla 9.4. Precio por $\text{m}^3/\text{día}$ de capacidad instalada de las tecnologías evaporativas y coste de amortización de dicha inversión.

Tabla 9.5. Coste por m^3 del OyM y productos químicos de las tecnologías evaporativas.

Tabla 9.6. Coste total por m^3 de las tecnologías evaporativas actuales consumiendo carbón.

Tabla 9.7. Consumo específico, precio de la electricidad y coste de la misma en instalaciones de OI de agua de mar.

Tabla 9.8. Porcentaje de inversión y período de amortización del equipamiento de una EDAM.

Tabla 9.9. Reactivos consumidos en diversos procesos en una EDAM.

Tabla 9.10. Coste de amortización de las EDAS dependiendo del período medio de amortización de la misma, tasa de interés y tamaño de la instalación.

Tabla 9.11. Descripción de costes obtenidos por ED para desalación de aguas salobres.

Tabla 9.12. Resumen de costes obtenidos por tecnologías de desalación.

Tabla 10.1. Calidad del agua requerida dependiendo del uso especificado.

Tabla 10.2. Tratamientos de eliminación de elementos y componentes nocivos de aguas depuradas.

Tabla 10.3. Tamaño de componentes existentes en el agua.

Tabla 10.4. Selectividad de diferentes procesos de separación comentados anteriormente.

LISTA DE GRÁFICAS

Gráfica 2.1. Distribución del consumo por sectores en España.

Gráfica 6.1. Evolución de la capacidad total de desalación en el mundo.

Gráfica 7.1. Distribución porcentual por países de la capacidad desaladora instalada.

Gráfica 7.2. Distribución porcentual (por capacidad contratada) de los métodos de desalación.

Gráfica 7.3. Capacidad total contratada de agua de mar, por métodos de desalación

Gráfica 7.4. Distribución porcentual de la desalación en cuanto al tipo de aguas de aporte.

Gráfica 7.5. Distribución porcentual por sectores del agua marina desalada.

Gráfica 7.6. Distribución porcentual por sectores de aguas salobres desaladas.

Gráfica 7.7. Distribución porcentual (por número de plantas) de los métodos de desalación radicados en Canarias.

Gráfica 7.8. Porcentaje de consumo eléctrico de la desalación y porcentaje de consumo turístico del total en las islas del archipiélago canario.

Gráfica 9.1. Distribución porcentual del coste de inversión de los diferentes equipos de una planta desaladora térmica (MSF).

Gráfica 9.2. Precio por kW instalado de instalaciones de ciclo combinado para cogeneración en función de su potencia eléctrica.

Gráfica 9.3. Coste del agua desalada (ptas/m³, en las barras) en función de las dimensiones de la planta de ciclo combinado (línea) en disposición híbrida de cogeneración.

Gráfica 9.4. Coste del agua desalada (en barras, ptas/m³) en función del precio del gas natural (línea) en la disposición híbrida de cogeneración.

Gráfica 9.5. Coste del agua desalada (en barras, en ptas/m³) en función del precio P_m del kW·h del mercado horario (lineal) en la disposición híbrida de cogeneración.

Gráfica 9.6. Coste del m³/día en función del tamaño de la planta desaladora de agua de mar por OI.

Gráfica 9.7. Coste de amortización de las EDAM dependiendo del período medio de amortización de la misma, tasa de interés y tamaño de la instalación.

Gráfica 9.8. Coste de inversión de una EDAS (ptas/m³/día) dependiendo del tamaño requerido.

Gráfica 11.1. Efecto del porcentaje de producción de agua dulce desalada a partir de aguas salobres.

Gráfica 11.2. Efecto del porcentaje de recuperación de la EDAR en el coste medio del agua de abastecimiento.

Gráfica 11.3. Efecto de la tasa de retorno de aguas de consumo humano a la EDAR en el coste medio del agua de abastecimiento de nuestro ejemplo.

DATOS HÍDRICOS

- Recursos hídricos

Evolución histórica de los recursos hídricos de Canarias

- Demandas y usos de aguas

Evolución histórica de las demandas y usos de aguas en Canarias

- Balance de recursos y demandas

- El Ciclo hidrogeológico del agua en Canarias

Recursos Hídricos

Los recursos hídricos de las Islas Canarias son el resultado del aprovechamiento de las aguas dentro de su [ciclo hidrogeológico](#).

Este aprovechamiento se produce de diversas maneras:

- De forma natural mediante el almacenamiento de aguas superficiales (recursos superficiales).
- Extracciones de las aguas subterráneas mediante nacientes, galerías y pozos de forma tradicional (recursos subterráneos).
- Desalación de aguas de mar (recursos no naturales).
- Y la cada vez más frecuente utilización de las aguas depuradas en la agricultura y recarga de acuíferos.

Estos recursos deben satisfacer las [demandas y usos](#) de las aguas, generando como resultado [balances hídricos](#) positivos, negativos o nulos en cada una de las islas.

En la actualidad la distribución de los recursos de aguas superficiales, subterráneas, depuradas y desaladas aparecidas sobre todo en la última década, son el reflejo de la [evolución histórica de los recursos hídricos en las Islas Canarias](#), que ha venido marcada por las condiciones geográficas, climáticas, geológicas y políticas.

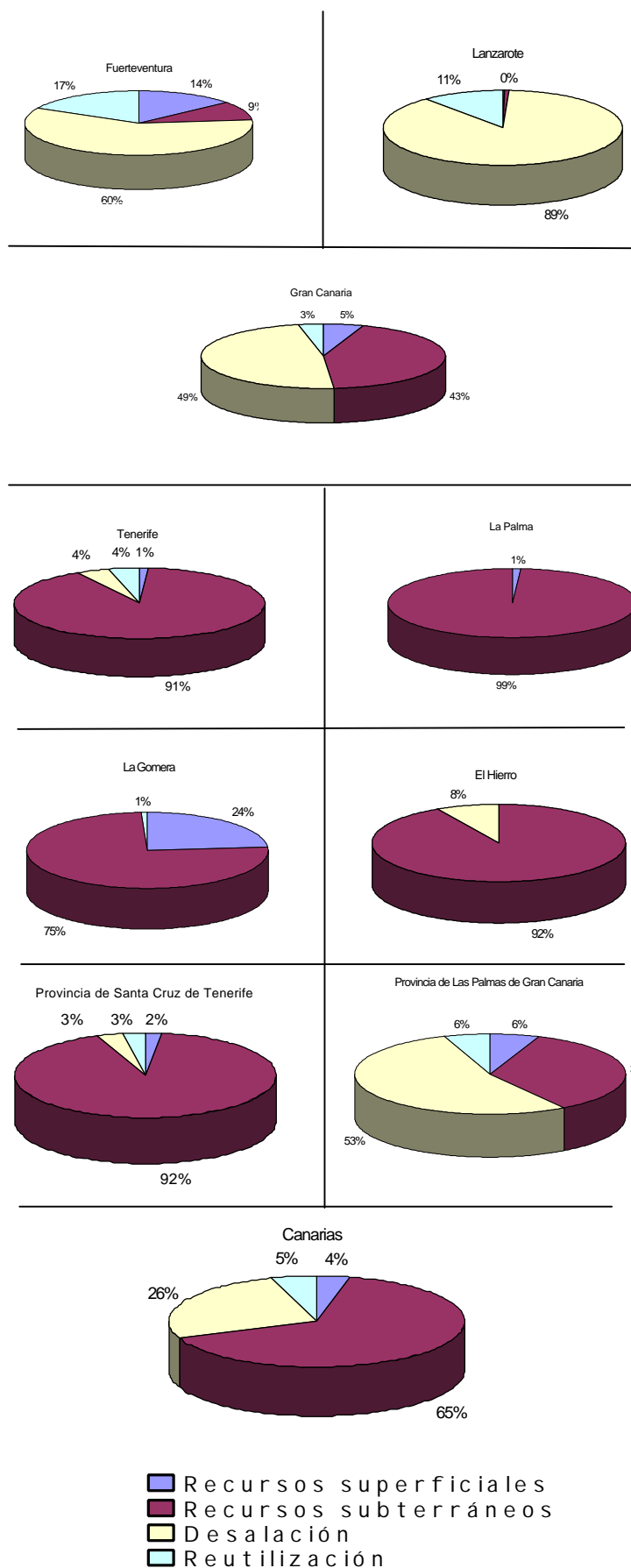
De esta forma en las islas más orientales, Lanzarote y Fuerteventura encontramos un predominio de los recursos de aguas desaladas, frente a los considerados como tradicionales de aguas superficiales y subterráneas.

En estas dos islas, pero sobre todo en Lanzarote, la irregularidad de las lluvias y las características del terreno, que facilitan la infiltración, hacen que no existan cursos de agua permanente. Así mismo es problemático y caro cualquier intento de embalsar las aguas que circulan por el terreno cuando las lluvias son abundantes, a excepción de algunos casos en Fuerteventura. En cuanto a los nacientes naturales no sólo son escasos en número sino en caudal, de los cuales se consideran verdaderamente productivos unos pocos localizados en las islas de Fuerteventura.

En las Islas occidentales, el predominio de las aguas de origen subterráneo y superficial frente al resto de los recursos es más patente. Sobre todo en La Palma y La Gomera, donde la utilización de técnicas de desalación de aguas de mar existe con volúmenes de producción muy pequeños.

La isla del Hierro posee una distribución de recursos que requiere mención aparte. Debido a sus condiciones geográficas y geológicas particulares, los recursos de aguas superficiales son casi inexistentes. La isla cuenta con muy pocas presas o embalse de aguas pluviales. La elevada pendiente longitudinal de los barrancos, exige estructuras de gran altura y dimensión, y la escasa escorrentía superficial, no favorecen el aprovechamiento de los recursos superficiales. Casi la totalidad de los recursos hídricos de la isla se ven limitados a las aguas subterráneas, extraídas en su mayoría mediante pozos o galerías que han visto decrecer

Distribución de Recursos Hídricos de Canarias (Año 2.000)



su producción paulatinamente a lo largo del tiempo. Esta circunstancia ha promovido en los últimos años la aparición

de aguas desaladas para satisfacer las demandas de la isla.

Es en las islas de Tenerife y Gran Canaria donde encontramos una mayor diversidad en los recursos hídricos. Esto es debido a la participación de plantas desaladoras de aguas de mar y a la reutilización agrícola de aguas depuradas procedentes de los núcleos de mayor población de las Islas.

Particularmente en Gran Canaria, destaca el alto volumen de recursos superficiales. Es la Isla con mayor índice de escorrentía superficial del Archipiélago y posee unas condiciones geomorfológicas adecuadas que han permitido el aprovechamiento de estos recursos.

En Gran Canaria el conjunto de recursos subterráneos y superficiales son similares a los recursos de aguas desaladas y reutilización de aguas depuradas, mientras que en Tenerife existe un claro predominio de los primeros.

Evolución de los recursos hídricos de Las Islas Canarias

Gran Canaria

Fuerteventura

Lanzarote

Tenerife

La Palma

La Gomera

El Hierro

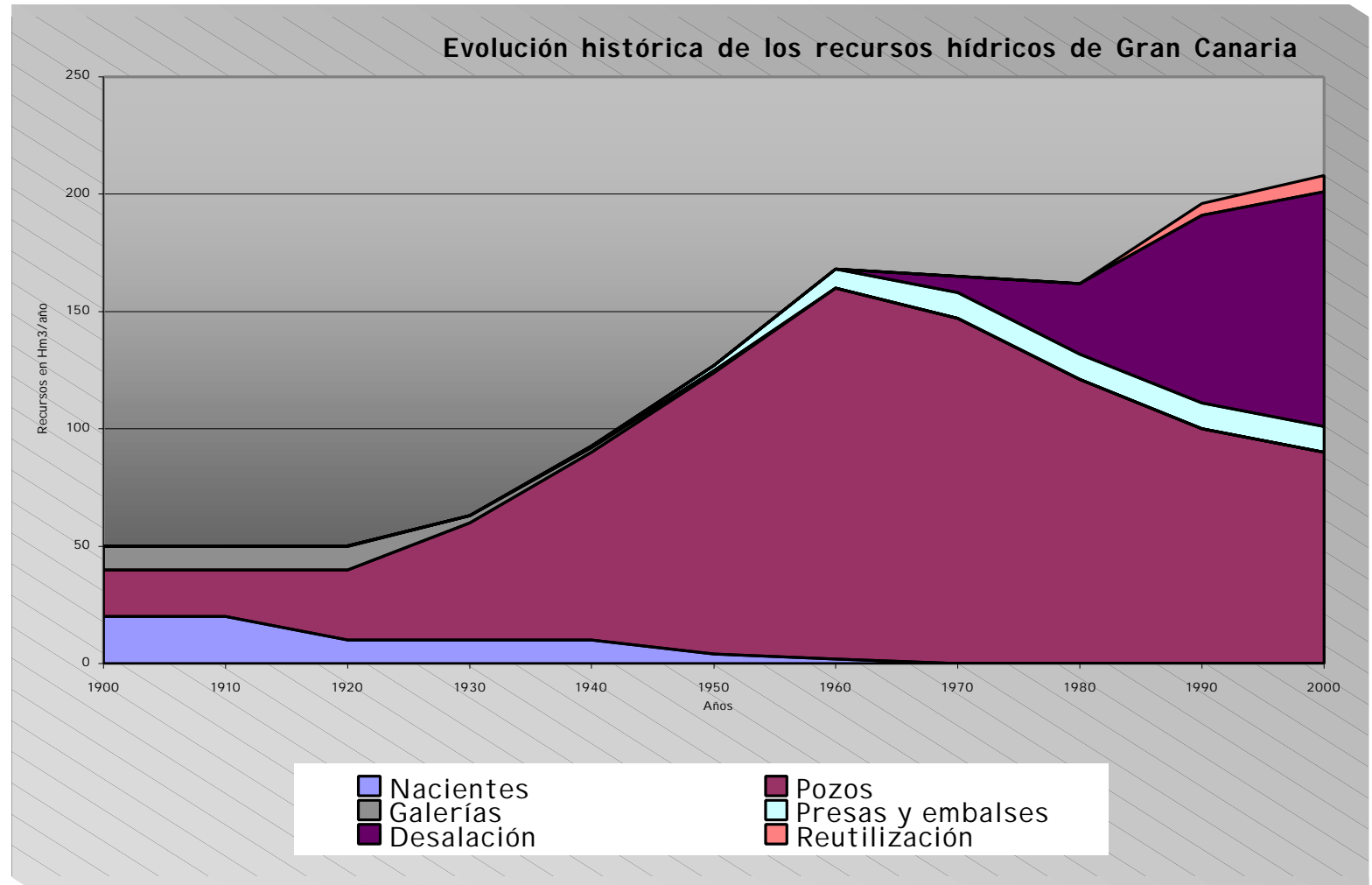
Gran Canaria

Es la isla que más ha visto incrementar sus recursos superficiales procedentes del aprovechamiento de las aguas de escorrentía. En la geomorfología de Gran Canaria destaca la presencia de profundos barrancos, que discurren radialmente desde el centro de la isla. La orografía del terreno y la baja permeabilidad sus suelos ocasiona que sea la isla con mayores coeficientes de escorrentía.

Es a partir de la década de los sesenta cuando empiezan a construirse grandes obras de almacenamiento de aguas. Esta red de presas junto a los pequeños depósitos de almacenamiento llegan a ocupar el 85% de los recursos superficiales de toda Canarias.

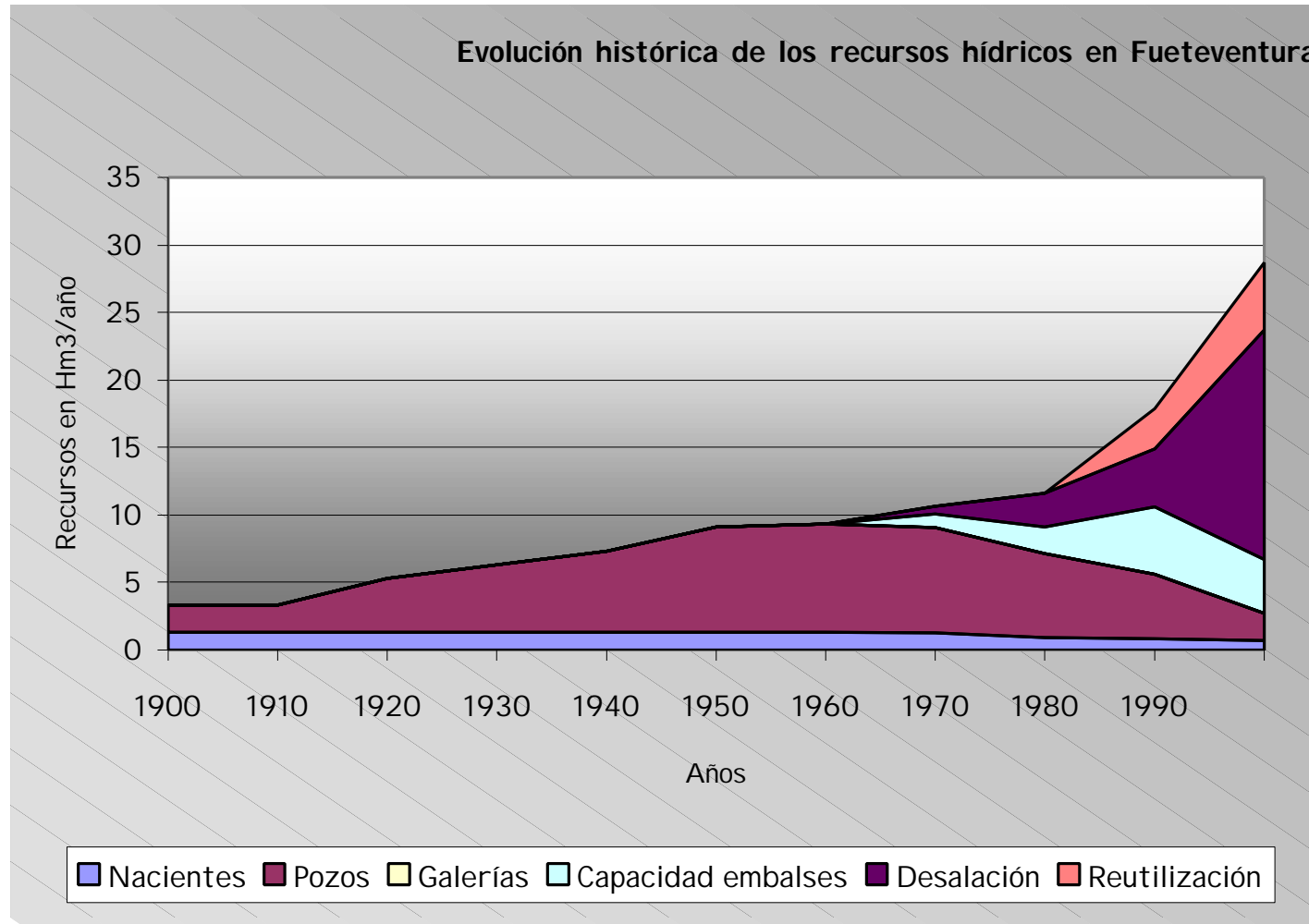
Las aguas procedentes de manantiales han visto mermados paulatinamente en la isla, debido al descenso de los niveles freáticos. La sobre explotación de los recursos subterráneos mediante galerías y pozos, ha ido degradando los acuíferos de la isla de forma importante, ocasionado no sólo la disminución de las reservas hídricas subterráneas sino la calidad de éstas. Este descenso en la Calidad de las aguas es debido a los fenómenos de intrusión marina y a la extracción de las aguas subterráneas fósiles de alta salinidad mediante galerías. Así mismo se ha hecho patente la aparición de contaminación difusa por el uso incontrolado de abonos e insecticidas. Estas circunstancias han llevado a una disminución de las extracciones de aguas subterráneas a partir de la década de los sesenta, donde los recursos de aguas subterráneas eran casi inexistentes.

A partir de la década de los setenta la situación de las reservas naturales de la isla empezó a hacerse deficitaria, por lo que empezaron a incorporarse recursos no naturales para satisfacer las demandas de la isla. Así pues la desalación de aguas de mar ha alcanzado en la actualidad alrededor del 50% de los recursos hídricos totales



Fuerteventura

La geomorfología de la Isla de Fuerteventura permite en determinadas áreas el almacenamiento de aguas superficiales. La baja infiltración del suelo y la presencia de barrancos, facilitó que en la década de los setenta se construyeran la primera balsa de las tres que existen en la actualidad. Las obras de almacenamiento de aguas en Fuerteventura sufren frecuentes procesos de enterramiento. Estos son debidos a la escasez de vegetación y la fuerte intensidad de los episodios lluviosos. Pese a estos inconvenientes las aguas superficiales han alcanzado una porción considerable de los recursos totales de la Isla.



A partir de la década de los setenta se produce un creciente abandono de las superficies cultivadas. Este hecho coincide con la aparición del turismo en la isla. Por tal motivo se ve disminuido el volumen de agua subterránea extraída y el número de captaciones operativa destinadas a la obtención de aguas para riego.

El incremento de la oferta turística, se produce principalmente en áreas geográficas con recueros naturales muy limitados. Esto impulsa la aparición de los recursos de aguas desaladas de mar, alcanzando en la actualidad casi el 60% de los recursos hídricos de Fuerteventura. Cabe destacar también, que gran parte de los recursos subterráneos de Fuerteventura son sometidos a tratamientos de desmineralización, debido a la disminución de la calidad del agua de pozos por el efecto de la intrusión de aguas de mar.

La sobreexplotación de los recursos subterráneos de determinadas áreas geográficas de Fuerteventura, ha provocado un descenso de los niveles freáticos de ésta, y como consecuencia la disminución de los caudales emanados por los escasos nacientes naturales.

Lanzarote

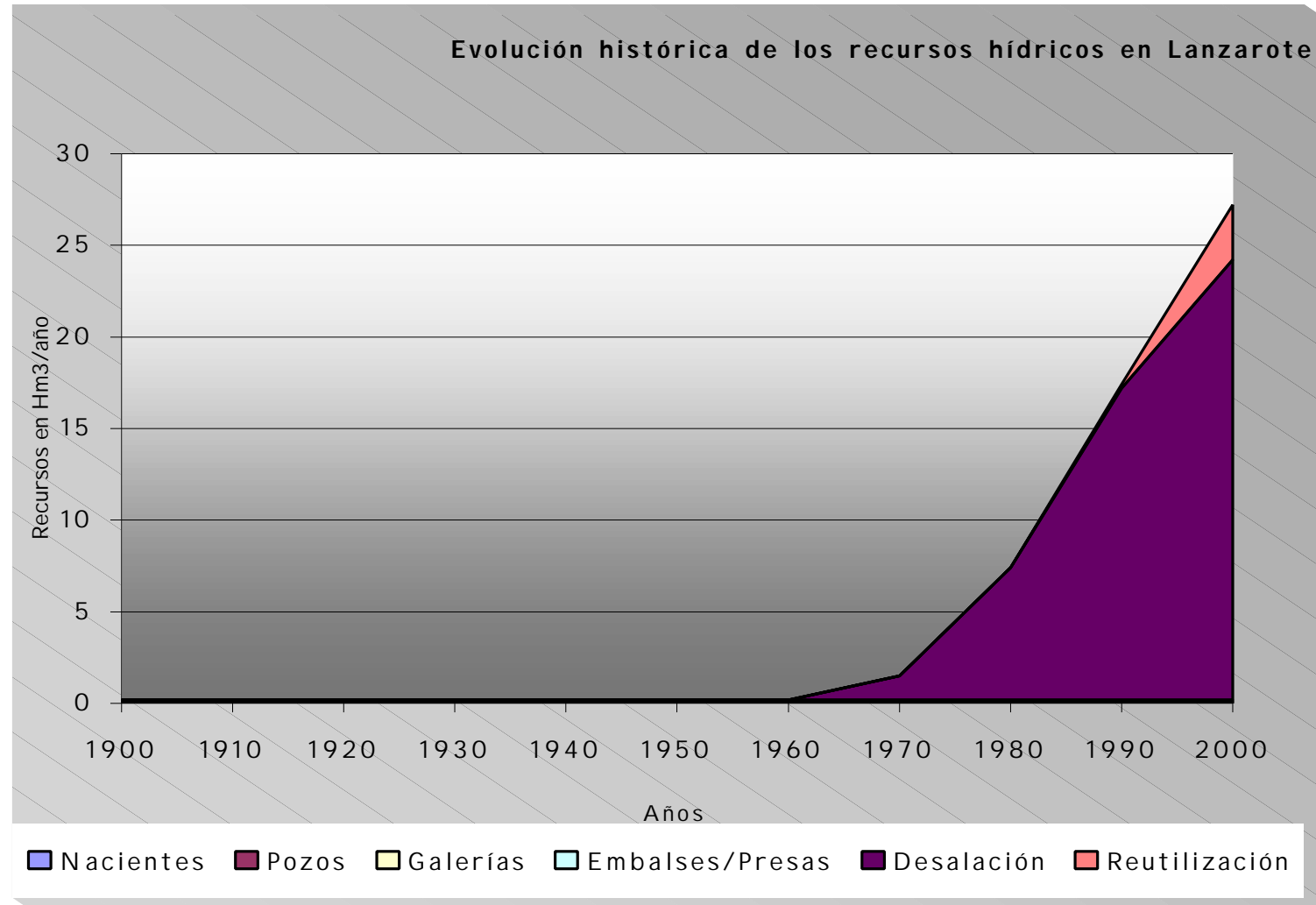
La red de drenaje de la isla de Lanzarote se localiza en un área geográfica muy limitada y de forma muy incipiente. Este hecho, unido a la alta permeabilidad del suelo, crean condiciones naturales inadecuadas para el almacenamiento de aguas superficiales.

Ya desde casi principios de siglo, la isla no ve incrementados sus recursos superficiales de forma significativa. En la actualidad sólo posee un pequeño embalse en explotación que almacena la totalidad de la aguas superficiales.

Con relación a los recursos subterráneos, la isla tampoco ha sufrido grandes variaciones con el tiempo. Estos consisten en pequeños caudales de extracción por pozos, que generalmente producen aguas fuertemente mineralizadas debido mayormente a fenómenos de intrusión marina.

Hay que decir que pese a alta tasa de infiltración de los suelos lanzaroteño, los valores de recarga de los acuíferos son muy bajos, ya que estas infiltraciones son posteriormente descargadas al mar casi en su totalidad.

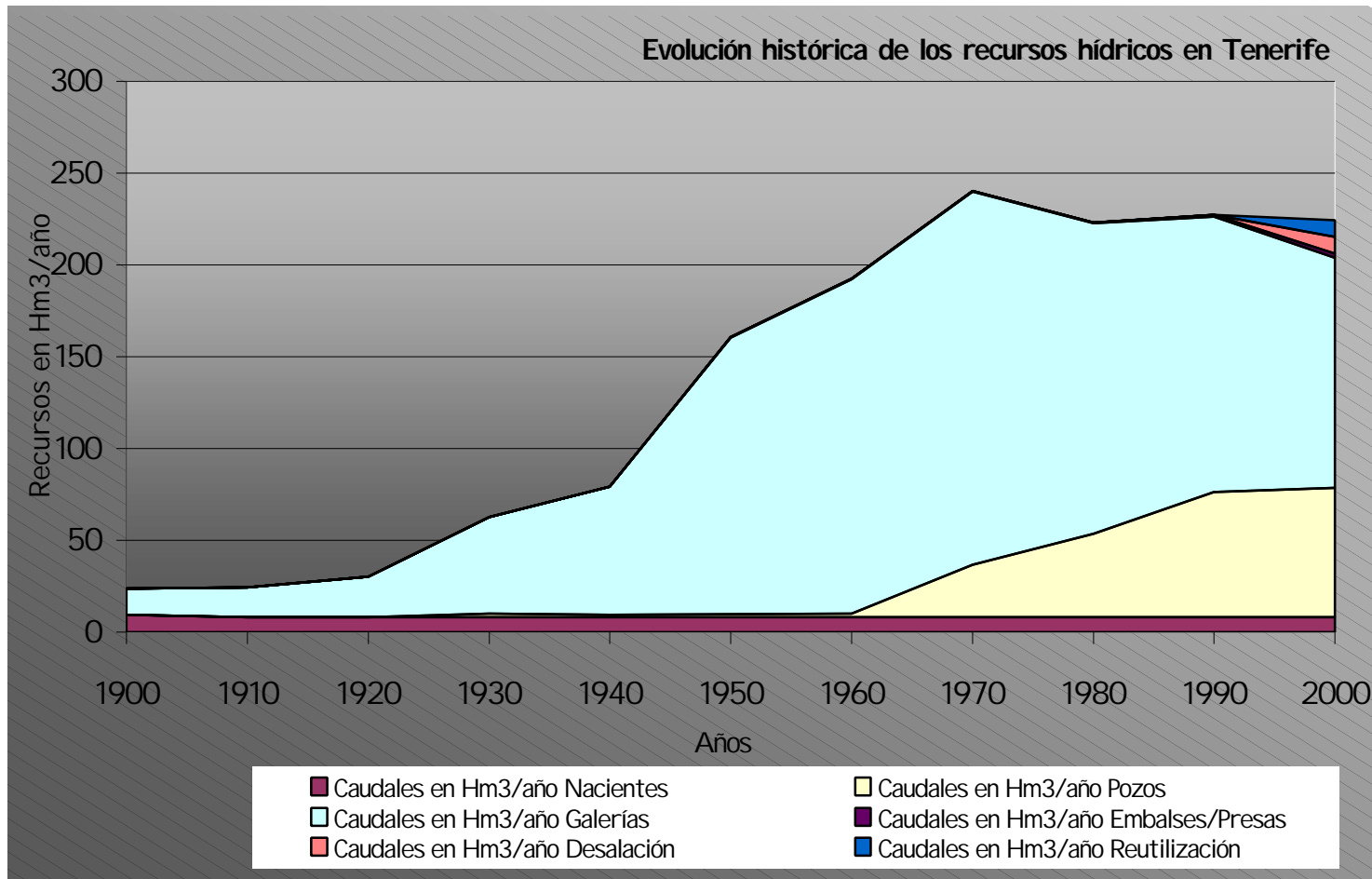
Al igual que sucedió en Fuerteventura, en la década de los setenta se produce la eclosión del sector turístico, que promueve la aparición de los recursos de aguas desaladas llegando en la actualidad a casi el 90% de los recursos hídricos totales de Lanzarote.



Tenerife

Los recursos superficiales de Tenerife han sufrido un lento incremento a lo largo del siglo. Tenerife posee unos índices de escorrentía moderados, que junto a la adversidad de las condiciones orográficas naturales, han limitado la instalación de embalses y presas de almacenamiento de aguas superficiales. Históricamente es a partir de la década de lo cuarenta cuando se construyen los primeros depósitos, cuyo uso no es exclusivamente el almacenamiento de aguas de escorrentía sino también de aguas subterráneas. El uso y gestión de estas embalses ha sido bastante irregular, ocasionado fluctuaciones en los balances de aguas superficiales entre distintos años.

Es a partir de la década de los ochenta cuando se introducen nuevas infraestructuras de almacenamiento de aguas superficiales mediante balsas reguladoras. Esta iniciativa fue llevada a cabo por el Consejo Insular de Aguas de Tenerife, llegando hasta en la actualidad a 17 balsas reguladoras.



Los recursos hídricos subterráneos de Tenerife han sido extraídos en su mayoría mediante galerías, las cuales han sufrido un considerable incremento en longitud con los años. La sobreexplotación de estas galerías ha ocasionado una disminución en la calidad de las aguas al alcanzar la fracción fósil de los acuíferos de mayor salinidad. Así mismo este abuso de las reservas subterráneas, ha ocasionado una disminución del caudal por agotamiento del acuífero. El volumen máximo de extracción se alcanza en la década de los setenta, momento en el que se empiezan a abandonar las captaciones de galerías, y surgen las extracciones de pozos. La calidad de las aguas subterráneas de Tenerife se ha visto alterada de forma generalizada por contaminaciones generadas por la actividad volcánica. Los fenómenos de intrusión marina se dan sobre todo en la vertiente sur de la isla, mientras que en el Norte los niveles de contaminación por aguas residuales y residuos agrícolas son patentes. Estas circunstancias han promovido la aparición de plantas desmineralizadoras a partir de los años ochenta. El desarrollo agrícola y turístico del sur de Tenerife provocó la incorporación de recursos no naturales en la década de los noventa. Se implanta así, la reutilización de aguas depuradas para riego de las comarcas agrícolas del sur de Tenerife, procedentes del área metropolitana. La desalación de aguas de mar es utilizada en la actualidad para el abastecimiento urbano tanto en los núcleos turísticos del sur como en la capital de la isla.

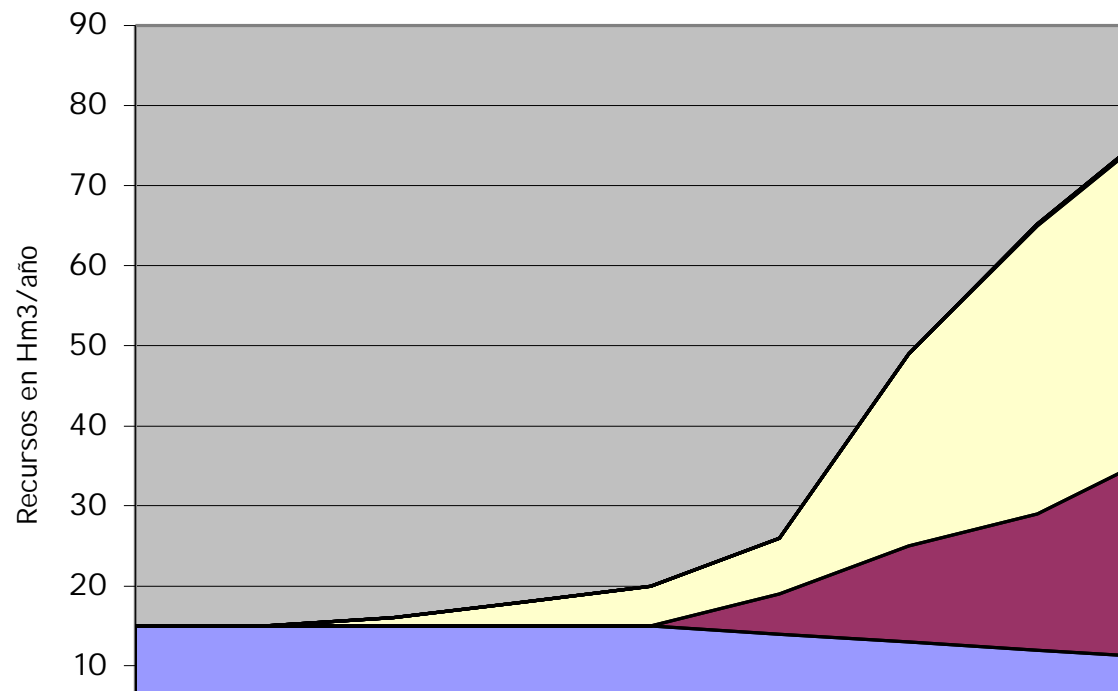
La Palma

La Palma junto a La Gomera, son las dos únicas islas que han visto mermar sus recursos hídricos totales en la última década. En el caso de La Palma no se ha producido aún la incorporación de las aguas desaladas y reutilizadas a los recursos.

El aprovechamiento de los recursos subterráneos ha supuesto casi la totalidad de los recursos hídricos a lo largo del último siglo, siendo a través de manantiales naturales la forma tradicional de abastecerse la isla. En la década de los años veinte se introducen nuevas formas de captación de aguas mediante la perforación de galerías, y a partir de principios de los años cincuenta se introduce las captaciones mediante pozos. Ambas fuentes de captación alcanzaron su máxima producción en los años ochenta, momento a partir del cual se aprecia un ligero descenso en el volumen de recursos subterráneos. Este descenso en los recursos subterráneos de la isla no parecen responder a una sobreexplotación de los acuíferos, dado que no se detecta alteración significativa en la calidad de las aguas subterráneas, salvo situaciones particulares. Por otro lado, tampoco se ha producido un descenso significativo en los recursos procedentes de manantiales.

La Palma, aunque posee gran cantidad de cauces y barrancos, no dispone de una red de almacenamiento de aguas superficiales importante. El carácter torrencial de las lluvias, el elevado volumen de arrastre de materiales sólidos, la abrupta orografía y elevada permeabilidad del terreno, dificultan

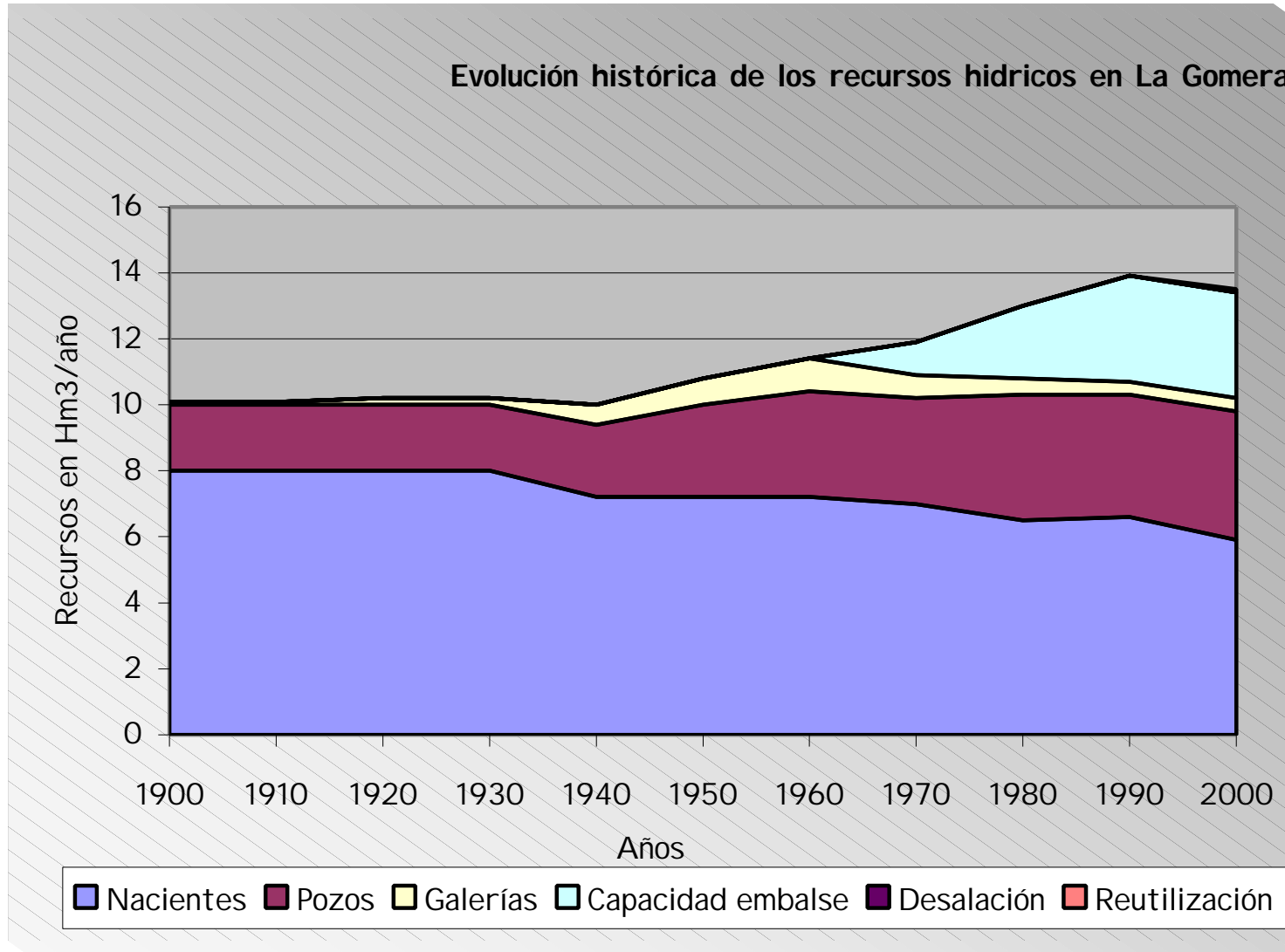
Evolución histórica de los recursos



la creación de presas y embalses. A partir de los años setenta se introduce una pequeña fracción de recursos superficiales en los sistemas de abastecimiento mediante la construcción de depósitos aguas.

La Gomera

Las aguas subterráneas han constituido, al igual que en La Palma, casi la totalidad de los recursos de la isla. La evolución de los históricos de los recursos hídricos de La Gomera posee un comportamiento similar al de La Palma, salvo que no se produce un descenso en las últimas décadas en las extracciones de pozos, aunque sí en galerías, sobre todo a partir de los años sesenta.



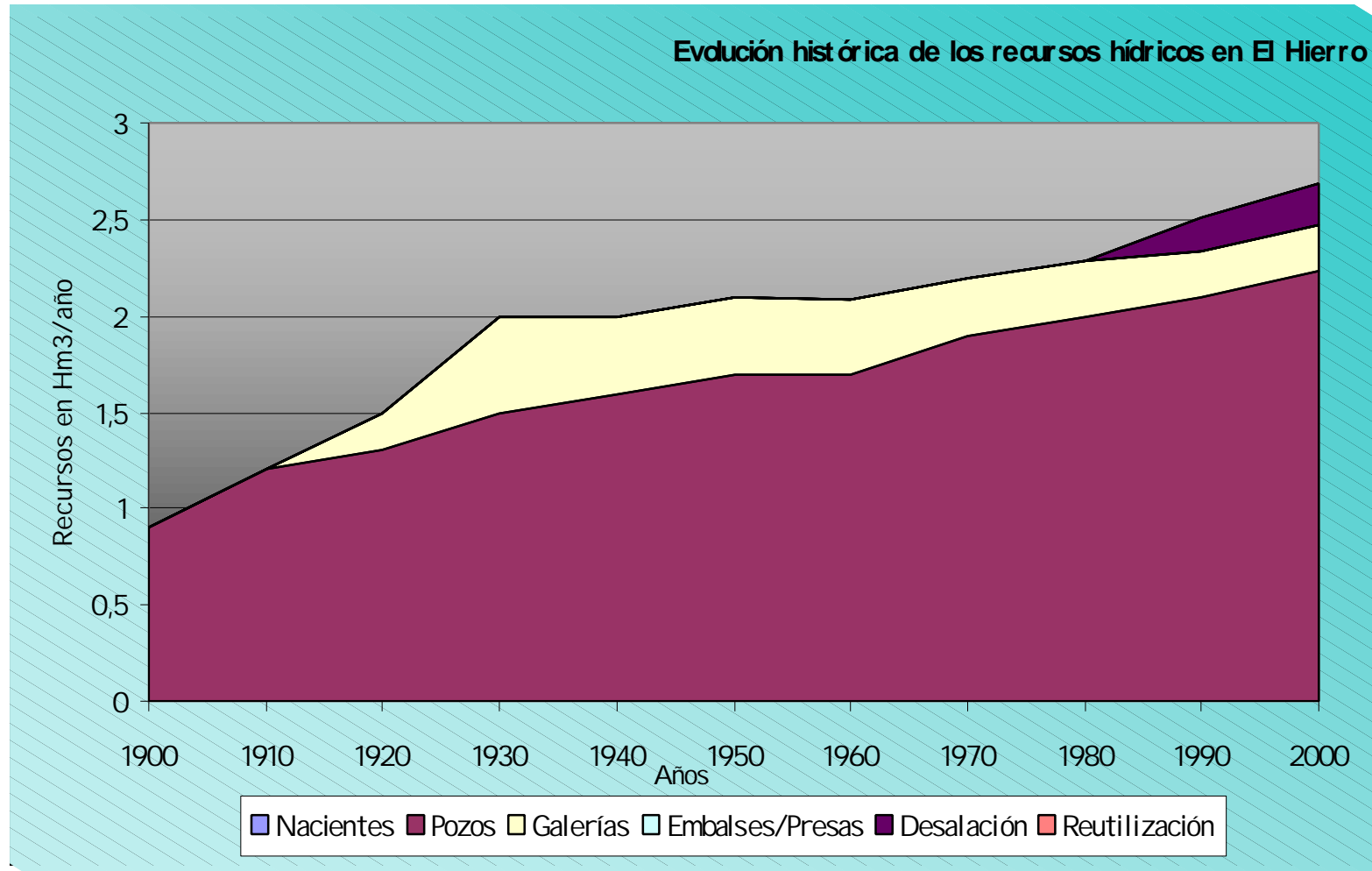
Sin embargo la isla de la Gomera posee una dotación en recursos superficiales considerable en relación a los recursos totales. Las primeras infraestructuras importantes destinadas al almacenamiento de aguas superficiales aparecen en los años setenta, llegando en la actualidad a un total de doce grandes presas y veintiuna presas adicionales que constituyen casi el 25% de los recursos hídricos de la isla. Cabe mencionar la reciente aparición de la reutilización de aguas depuradas.

El Hierro

Los escasos índices de escorrentía superficial de las precipitaciones, estimados en 0,6%, han hecho que los recursos superficiales no supongan en ningún momento un aporte importante en los recursos totales del Hierro.

Las precipitaciones caídas en la isla son infiltradas rápidamente por el suelo, que posteriormente y casi en su totalidad, son descargados al mar. Es por este motivo que no se existan nacientes naturales ni una red de galerías de extracción de agua subterráneas importante en la isla.

Hasta los años noventa, en los que aparecen las aguas desaladas entre los recursos hídricos de la isla, la totalidad de estos los comprendían las extracciones de aguas subterráneas fundamentalmente mediante pozos, las cuales han estado muy condicionados a el desarrollo agrícola de la isla.



Demandas y usos de las aguas en las Islas Canarias

La actualidad de las demandas y usos de aguas en las Islas Canarias resulta muy heterogénea con relación a su reparto entre las distintas islas. Estos usos han sufrido *evoluciones históricas* distintas en cada isla, condicionado principalmente por el crecimiento demográfico y el desarrollo de cada uno de los sectores económicos.

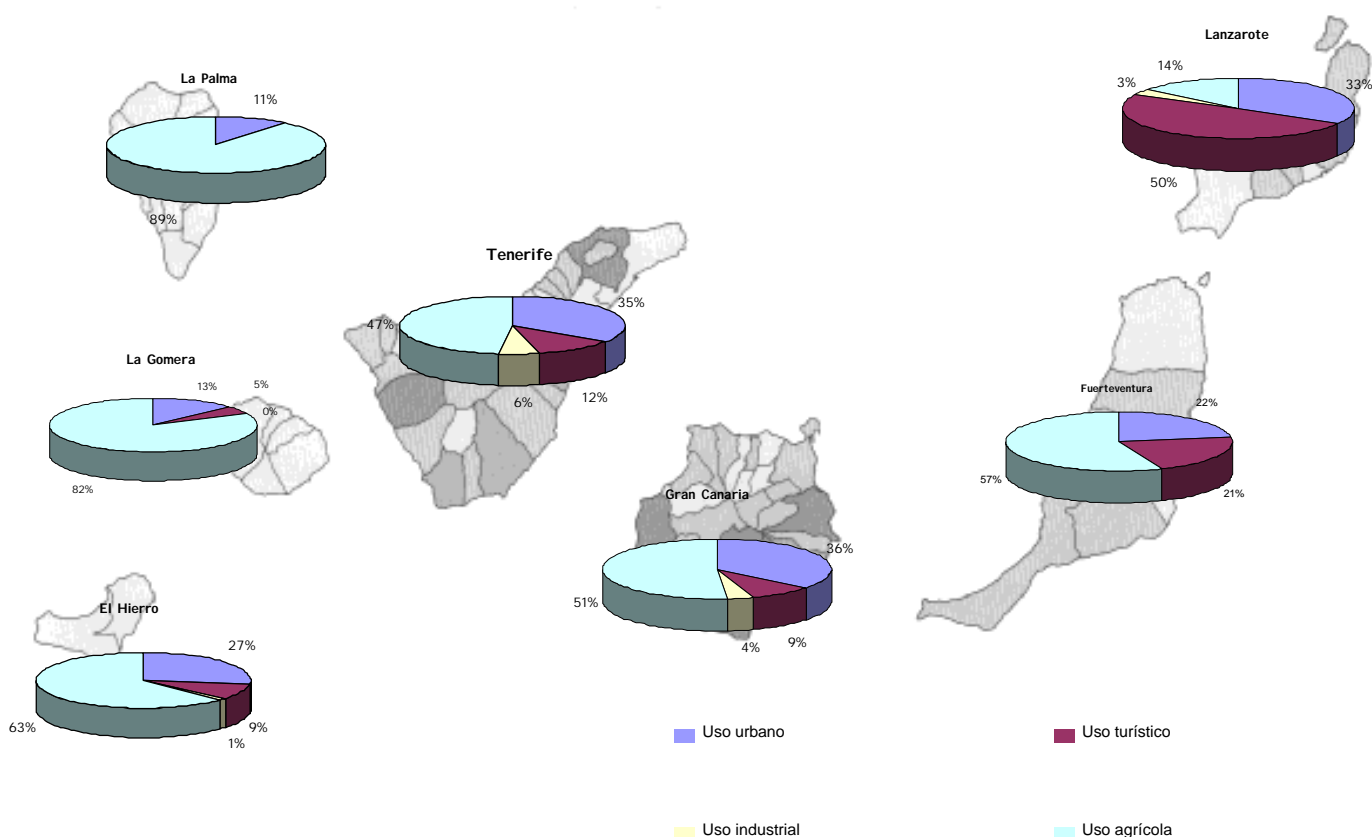
Las demandas de aguas se reparten entre los usos agrícola, abastecimiento humano y los sectores industriales y turísticos. Hay que destacar que las aguas para uso industrial, turístico y consumo humano, dada la situación actual de los sistemas de abastecimiento, resulta complicado diferenciar los valores correspondientes a cada sector, pues suelen utilizar con bastante frecuencia las redes de abastecimiento urbano.

En los datos de demandas presentados se han incluido las pérdidas en las sistemas de conducción y travesías, las cuales suponen un volumen importante sobre todo en las islas de Tenerife y La Palma. Estas pérdidas se han estimado entorno a 11 hm³/año para la isla de Tenerife (Plan hidrológico de Canarias, Actos preparatorios. 1.999).

Tabla I. Demandas por sectores en las Islas Canarias (año 1.999)

<i>Isla</i>	<i>Sector Urbano</i> (hm ³ /año)	<i>Sector Turístico</i> (hm ³ /año)	<i>Sector Agrícola</i> (hm ³ /año)	<i>Sector Industrial</i> (hm ³ /año)	<i>Total</i> (hm ³ /año)
Gran Canaria	56	14	80	6	156
Fuerteventura	4	3.8	10	-	17.8
Lanzarote	7,5	11	3,2	0.7	22.4
Provincia de las Palmas de Gran Canaria	67.5	28.8	93.2	6.7	196.2
Tenerife	69.6	28	96.8	11.8	206.2
La Palma	7.2	0.1	60	-	67.3
La Gomera	1.3	0.5	8.2	-	10
El Hierro	0.58	0.2	1.34	0.028	2.15
Provincia de Santa Cruz de Tenerife	78.68	28.8	166.34	11.82	285.6
Canarias	146.18	57.6	259.54	18.52	481.8

Fuentes: Plan Hidrológico de Canarias, Actos Preparativos. 1.999. Consejos Insulares de Aguas de Gran Canaria, Tenerife, Fuerteventura, Lanzarote La Gomera, El Hierro y La Palma.



Como puede observarse las demandas hídricas totales del archipiélago ascienden a 477 hm³/año, siendo las más importantes las correspondientes a las Islas de Tenerife (42.2%), a Gran Canaria (32.6%) y la Palma (14,1%). La demanda agrícola es en todas las islas la más elevada, con la única excepción de Lanzarote, y representa el 54.4% de la demanda total, mientras que la demanda urbana y

turística suponen en conjunto un tercio del total, Es de destacar que estos valores correspondientes al territorio español del orden del 80% y 14%, respectivamente, lo que desmiente, la idea ampliamente extendida de que en Canarias se utiliza demasiada agua para regadíos.

A partir de los datos disponibles para el año 1.999 sobre población, ocupación hotelera y consumos medios de cultivos de regadío, se pueden deducir las dotaciones medias empleadas para los distintos sectores de usos de recursos hídricos (Tabla II).

Tabla II. Dotaciones unitarias por sectores en las Islas Canarias (1.999)

Isla	Dotaciones unitarias		
	Uso Urbano (l/hab/día)	Uso Turístico (l/h/día)	Uso Agrícola (m ³ /ha/año)
Gran Canaria	162	250	7.687
Fuerteventura	230	250	10.000
Lanzarote	187	250	12.500
Provincia de Las Palmas de Gran Canaria	167	250	-
Tenerife	259	280	8.070
La Palma	220	300	13.833
La Gomera	180	400	8.167
El Hierro	230*	-	7.950
Provincia de Santa Cruz de Tenerife	253	283	-
Total de las Islas Canarias	208	263	7.830

* Incluye la demanda turística

Fuentes: Plan Hidrológico de Canarias, Actos Preparativos. 1.999

Aunque los datos de dotaciones por sectores tienen solamente un carácter indicativo, se detecta que tanto las dotaciones relativas al abasto de zonas urbanas como al sector turístico, son generalmente inferiores a las de los territorios correspondientes en el resto del territorio español. Estas circunstancias pueden ser motivadas por la cultura de escasez de recursos desarrollada en el Archipiélago Canario.

Uso urbano.

Los recursos hídricos destinados al consumo humano de Canaria corresponden a una población total estimada en algo más de un millón seiscientos mil habitantes, caracterizada por la heterogeneidad en el reparto geográfico de la población. Así pues, destaca la presencia de gran número de entidades de población de menos de mil habitantes y localizadas de forma dispersa, sólo existiendo 2 núcleos con poblaciones situadas entre cien mil y quinientos mil habitantes. Esta circunstancia ha forzado a la aparición de gran número de fuentes de abastecimientos distintas, sobre todo en las islas no capitalinas con mayor dispersión de población.

En la actualidad, la gestión de aguas destinadas al consumo humano se realiza mediante la participación en su mayor parte de los propios Ayuntamientos con total autonomía, a excepción de los grandes núcleos de población en los cuales existe participación privada en la explotación de las aguas.

La red de distribución de aguas de consumo urbano comprende 545 sistemas de abastecimientos, de los cuales 241 pertenecen a Tenerife, 168 a Gran Canaria, 34 a La Palma, 7 al Hierro, 48 a la Gomera, 27 a Fuerteventura y 20 a Lanzarote. Se considera un sistema de abastecimiento como; " el área geográfica de población abastecida por un agua de calidad definida y distinta ya sea por origen o por mezcla de distintas aguas".

Uso turístico:

Los datos referentes a los consumos de aguas en el sector turístico son un fiel reflejo de la importancia de dicho sector en la economía de las Islas Canarias, para la que constituye una de las primeras fuentes de ingresos. Las demandas del sector turístico han de satisfacer las exigencias generadas

Tabla III. Infraestructura hotelera de las Islas Canarias (año 2.000)

Isla	Plazas hoteleras	Plazas extra - hoteleras	Total de plazas	Instalaciones hoteleras	Instalaciones extra - hoteleras	Total de instalaciones	Número de piscinas (vasos)
Tenerife	57.006	56.999	114.005	199	346	545	609
Gran Canaria	35.018	108.067	143.085	157	680	837	720
La Palma	1.983	5.817	7.800	31	434	465	14
Lanzarote	12.077	32.763	44.840	31	211	242	403
Fuerteventura	9.515	24.867	34.382	30	112	142	250
Gomera	1.554	3.940	5.494	26	358	384	24
Hierro	417	551	968	16	46	62	2

Fuentes: Consejería de Transporte y Turismo del Gobierno de Canarias

por la infraestructura hotelera de Canarias mostrada en la tabla III.

El turismo en las islas Canarias genera un balance entorno a los nueve millones de visitantes anuales y unos 90 millones de pernoctaciones anuales.

En las instalaciones hoteleras es cada vez más frecuente el uso de técnicas de desalación de aguas de mar como fuentes de abastecimiento de aguas.

Uso agrícola

La agricultura de regadío en las Islas Canarias es la principal consumidora de los recursos totales producidos, con la excepción de la isla de Lanzarote, donde el sector agrícola es casi en su totalidad en régimen de secano. Así mismo el sector agrícola en Lanzarote forma parte de un fracción muy limitada dentro del entramado económico de la Isla. Situación parecida posee la isla de Fuerteventura, aunque con un sector agrícola más fuerte y con mayor presencia de regadíos.

La demanda de aguas para uso agrícola en el año 2.000 alcanzó 260 hm³/año, lo que supuso el 57% del consumo total.

Por otra parte, este sector es claramente regresivo, tanto como consecuencia de la previsible disminución de las ayudas y protecciones de la Comunidad Económica Europea, como por el propio encarecimiento del agua al entrar en competencia con el riego otros usos, para los que el coste del agua tan sólo tiene un carácter marginal.

El sector agrícola Canario centra su actividad mayoritaria en los cultivos de platanera, frutales, hortalizas para exportación, flores y plantas ornamentales, viñas, patatas.

Uso industrial

El sector industrial en las Islas Canarias se localiza fundamentalmente en Gran Canaria y Tenerife, siendo casi despreciable en La Palma y La Gomera. Un número considerable de industrias se localizan dentro del espacio urbano, por lo que sus consumos suelen estar asociados a los consumos urbanos a excepción de grandes industrias bien aisladas. Otro de los factores a tener en cuenta es a la hora de estimar las demandas de aguas en el sector industrial, es el cada vez mayor número de industrias que poseen sistemas de abastecimiento propios, asociados generalmente a plantas desaladoras de aguas de mar.

Los consumos de aguas industriales en las Islas Canarias se distribuyen en su mayoría entre: refinerías de petróleo, empresas alimentarias, centrales eléctricas, zonas marítimoportuarias y aeroportuarias y una red de polígonos industriales localizados principalmente en las islas de Gran Canaria y Tenerife.

Evolución histórica de las demandas y usos del agua en las Islas Canarias

Gran Canaria

Fuerteventura

Lanzarote

Tenerife

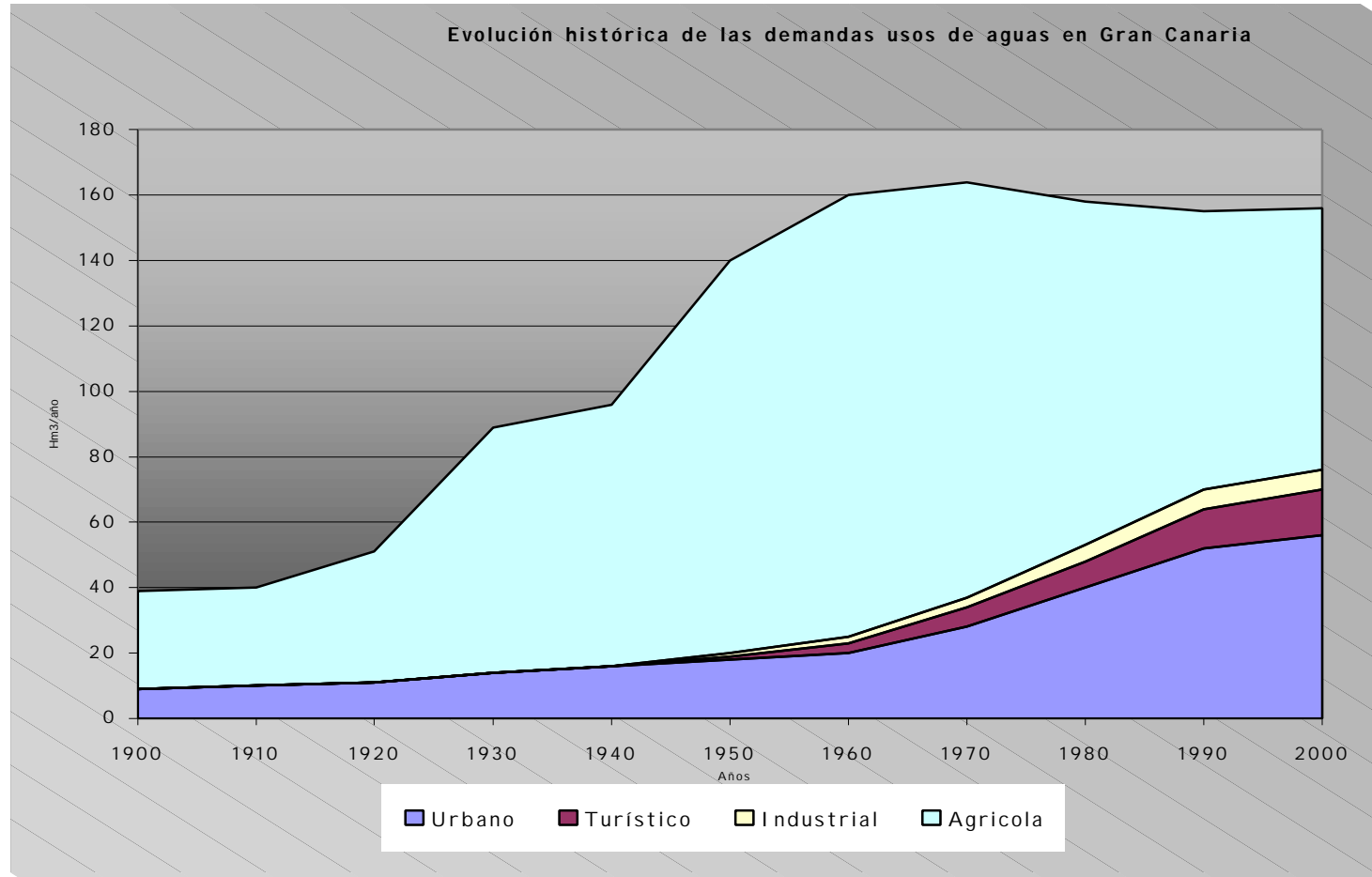
La Palma

La Gomera

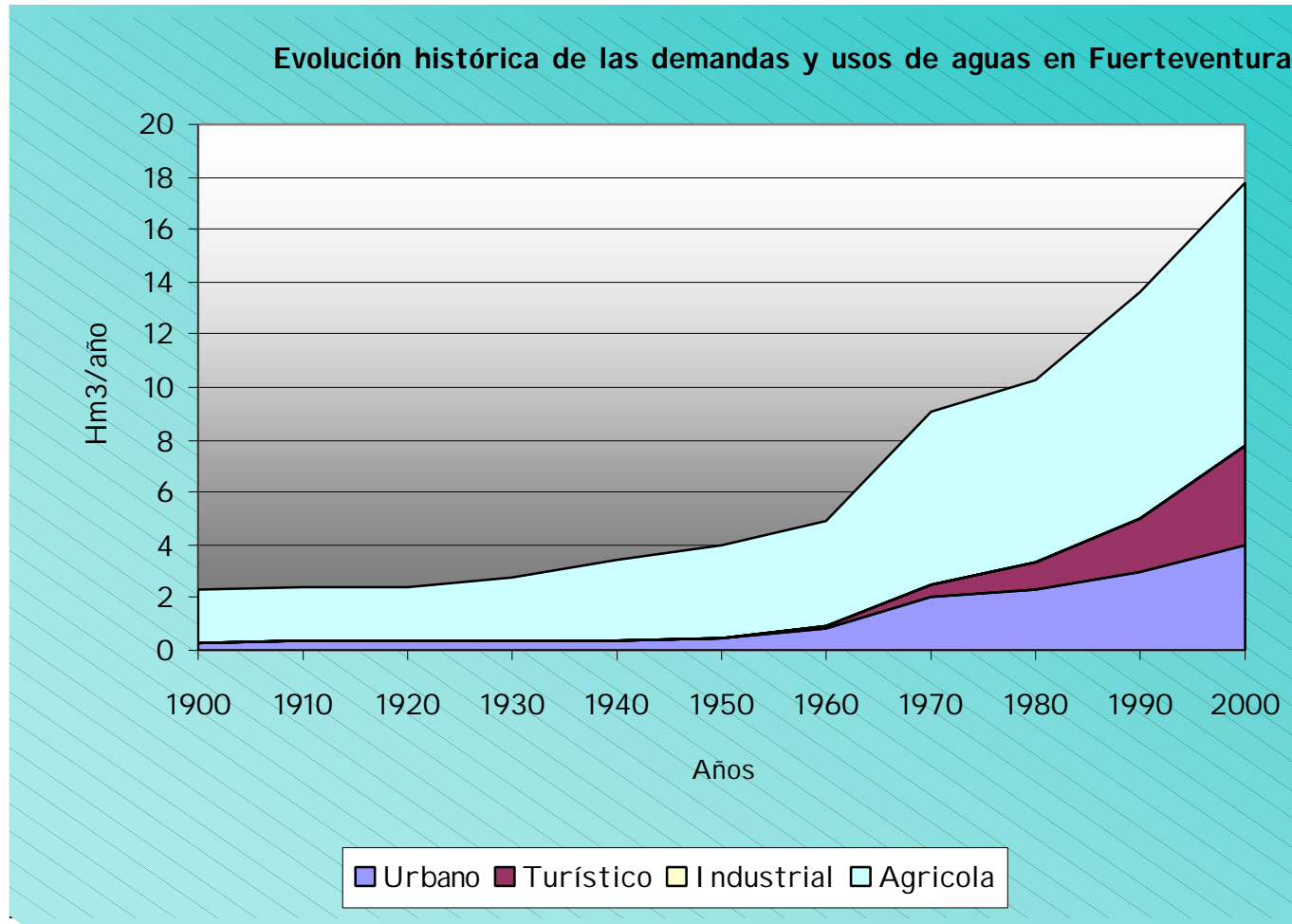
El Hierro

Gran Canaria

Las demandas de aguas en la isla de Gran Canaria experimentaron en los años cincuenta un incremento considerable debido al crecimiento del sector agrícola. Este sector económico continuó una pauta de crecimiento hasta la década de los setenta, en la que toma auge el turismo en la economía de la isla. Por otro lado, en el descenso de las demandas de agua para la agricultura en los años setenta, incide el cambio producido en los sistemas de cultivo, sustituyéndose el regadío por cultivos de secano. Es a partir de los años cincuenta cuando surgen en la isla de Gran Canaria las demandas dentro del sector industrial.



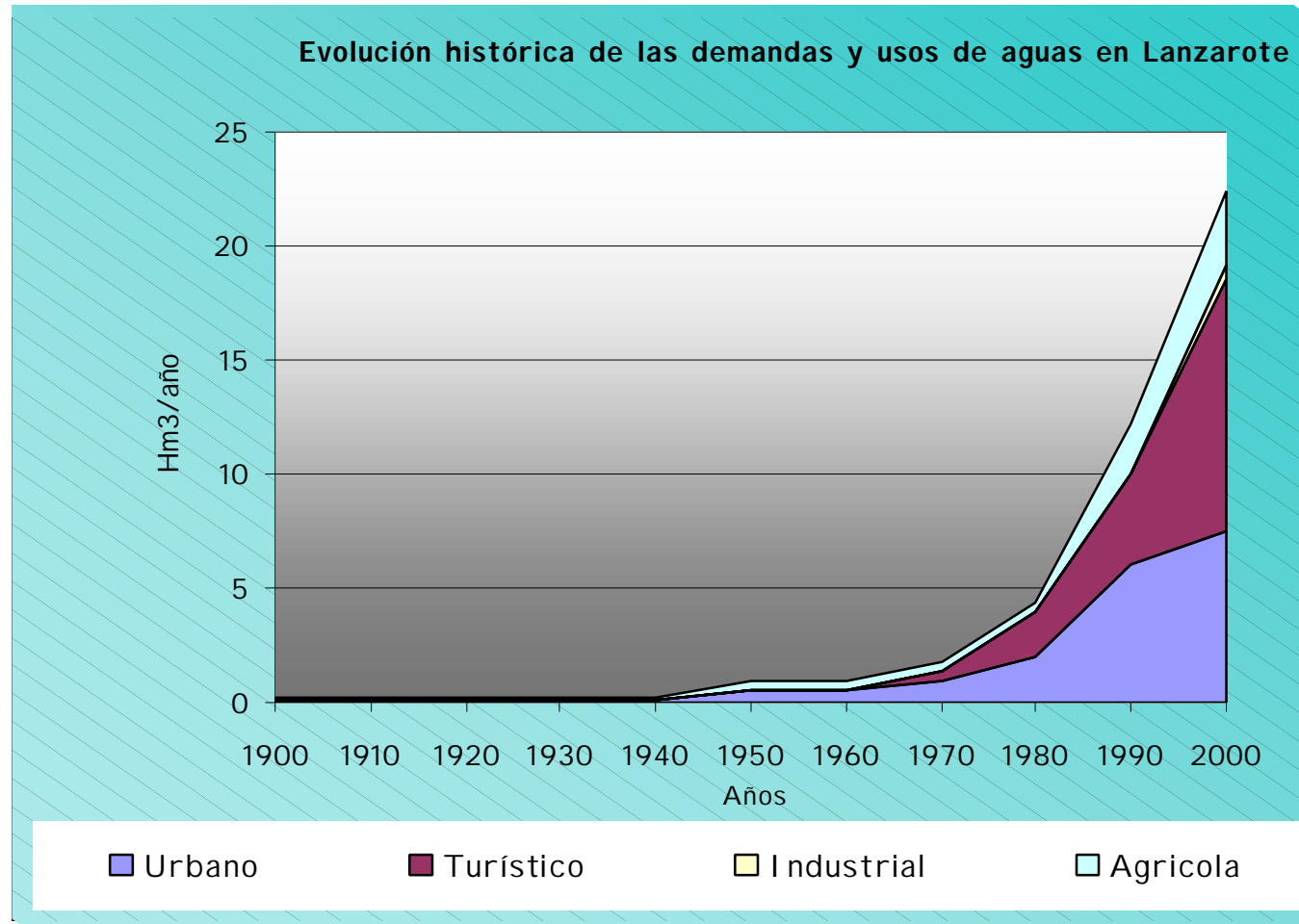
Fuerteventura



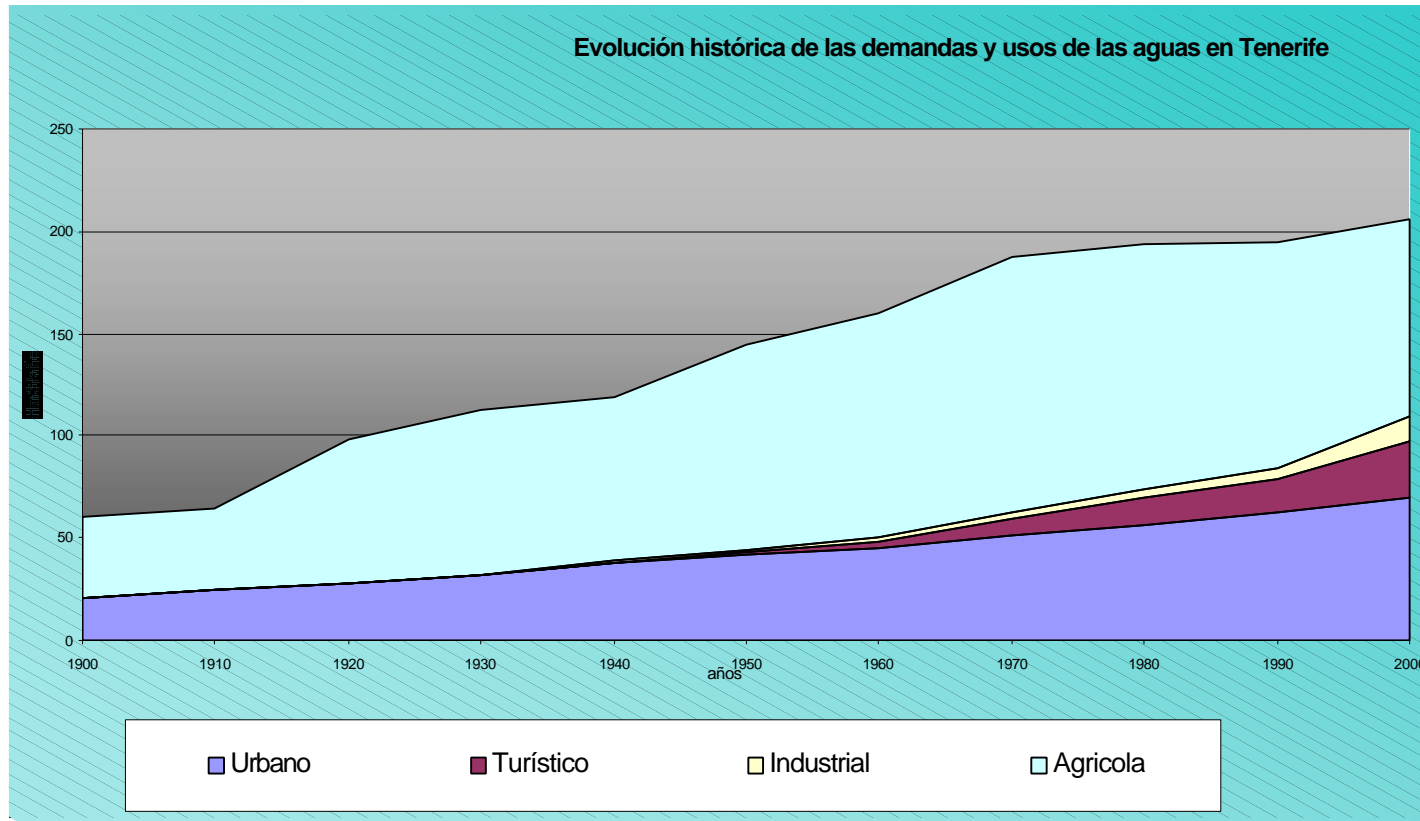
Fuerteventura, junto a Lanzarote y el Hierro, han visto crecer sus demandas de agua en la agricultura de forma constante en el último siglo. La aparición de técnicas de desalación, tanto para potabilizar aguas de mar como para desmineralizar de aguas subterráneas cuya calidad son inadecuadas para el uso. La aparición de las técnicas de desalación de aguas, ha promovido la creación de cultivos de regadío en la isla de Fuerteventura, para lo cual se han realizado fuertes inversiones destinadas sobre todo al cultivo de tomates y floricultura. Como el resto de la Comunidad Autónoma de Canarias, las primeras demandas del sector turístico surgen en la década de los sesenta.

Lanzarote

La isla de Lanzarote es la que mayor a visto incrementar sus demandas de aguas en la última década. Este fuerte incremento responde al aumento en la demografía de la isla promovida por la bonanza económica y desarrollo del sector turístico. Con relación a las demandas agrícolas, estas han visto incrementarse de forma importante a partir de los años noventa con la aparición de las primeras desoladoras de aguas de mar en la isla, que en la actualidad suponen casi la totalidad de los recursos hídricos de Lanzarote.



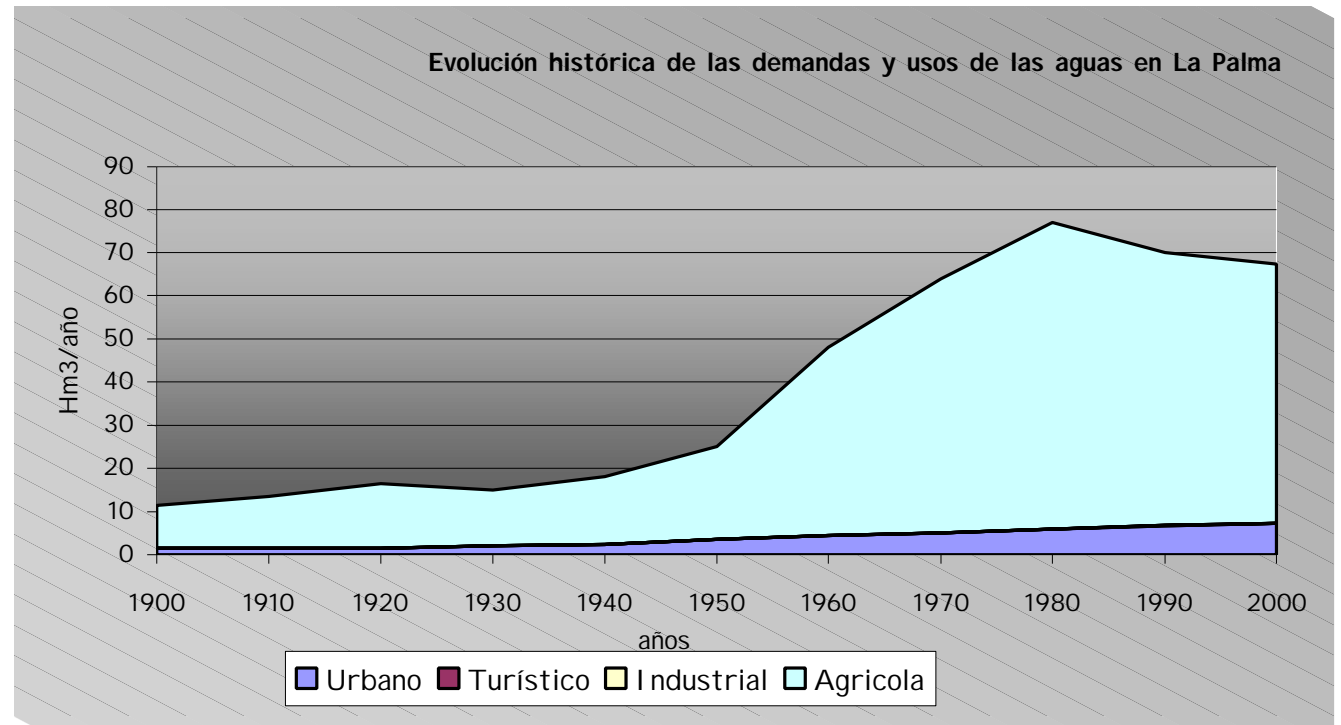
Tenerife



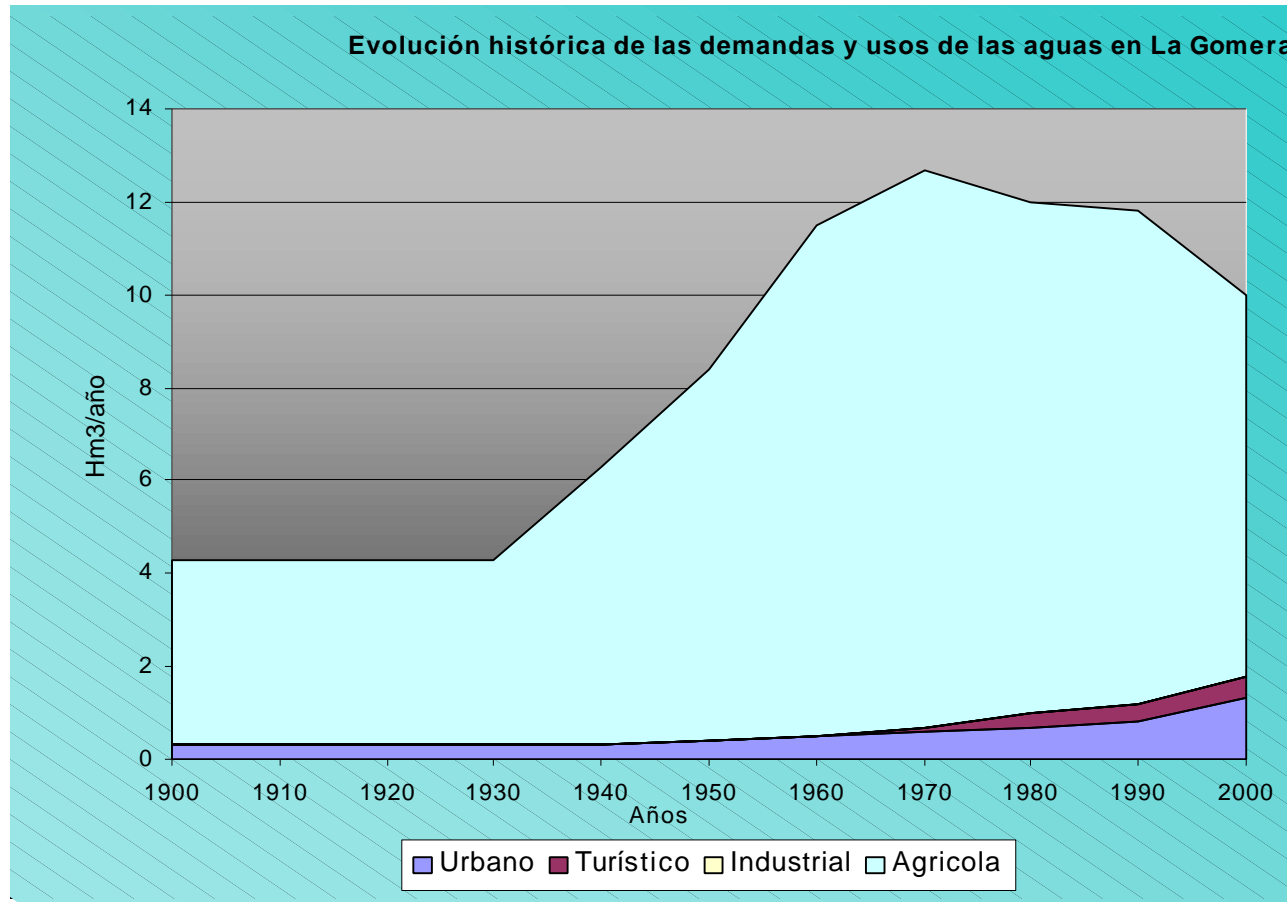
La mayor parte de las demandas de aguas en las isla corresponden al sector agrícola el cual ha visto disminuir su producción de forma paulatina desde los años setenta. Cabe destacar el gran incremento de necesidades de agua en el sector turístico e industrial de la última década.

La Palma

Las necesidades totales de aguas en la isla de La Palma han sufrido un receso desde finales de los años ochenta hasta la actualidad. Este descenso ha sido promovido por la disminución de las demandas de aguas en el sector agrícola, el cual tubo su máximo punto de actividad en los primeros años de la década de los ochenta. El desarrollo turístico de la isla de La Palma comienza de forma incipiente en la última década detectándose las piremias demandas significativas relativas a este sector económico.



La Gomera

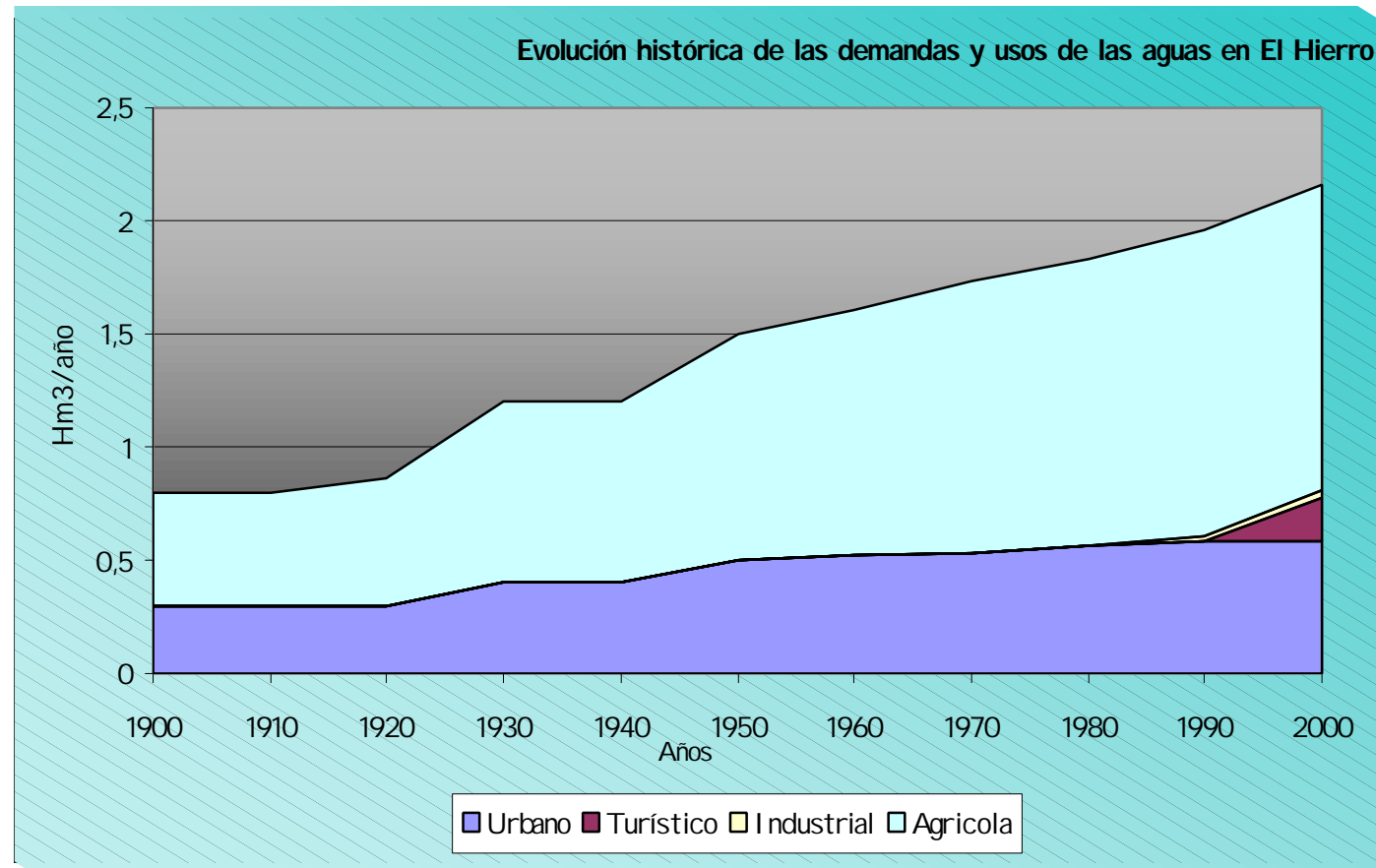


La evolución histórica de las demandas y usos en la isla de La Gomera responde de forma similar a los sucedido en La Palma, aunque el receso de demandas promovidas por la caída del sector agrícola de regadíos, empezó a manifestarse a finales de la década de los setenta. Así mismo, es en la misma época cuando aparecen las primeras demandas de agua en el sector turístico.

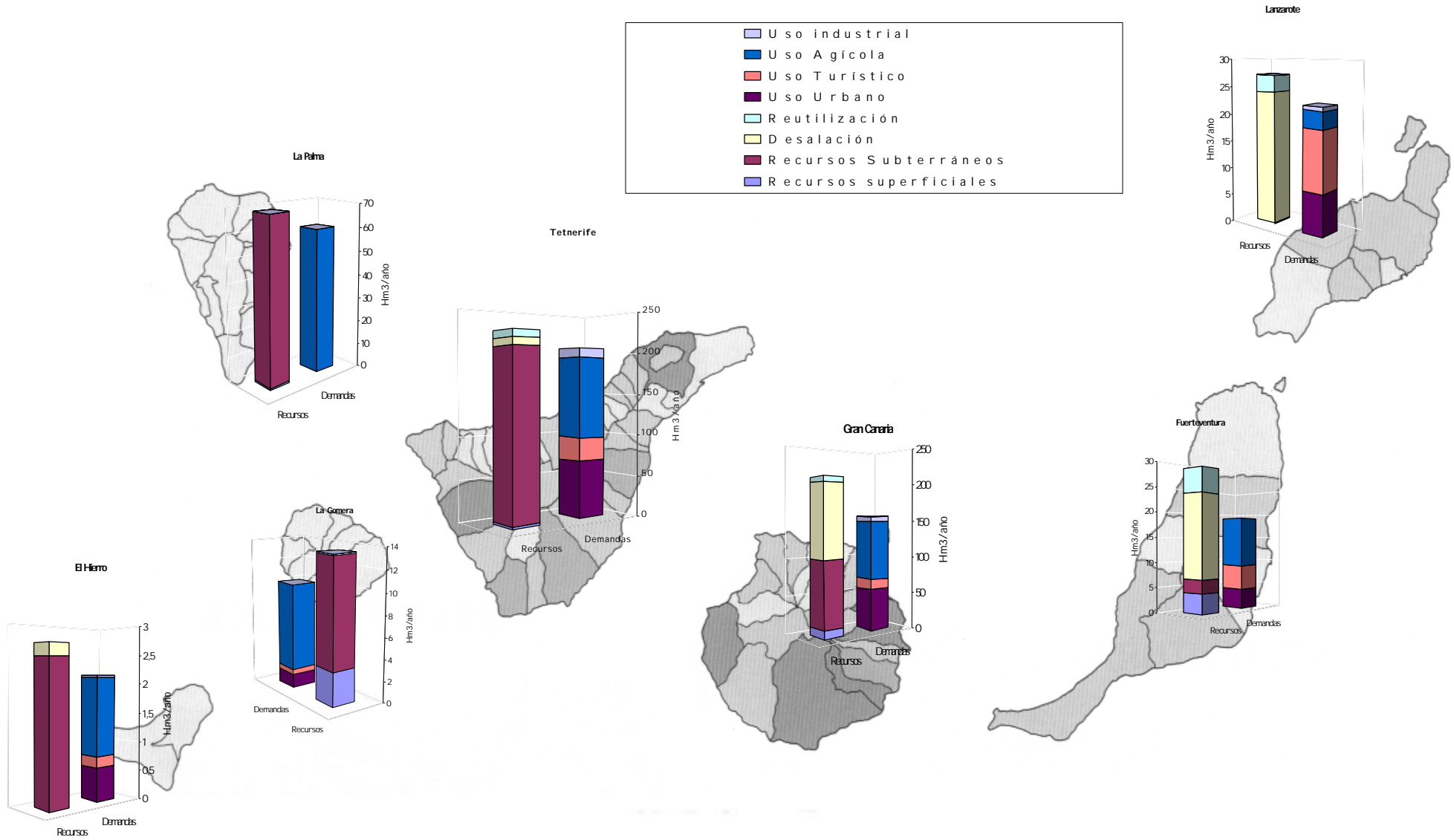
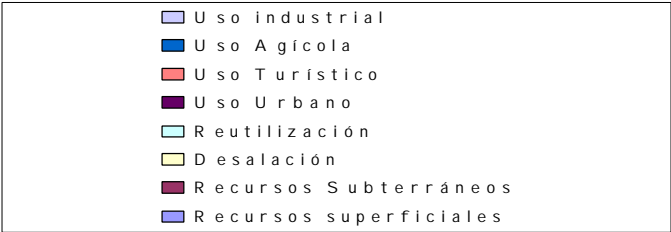
El Hierro

Las demandas hídricas de la isla del Hierro se han visto incrementadas de forma moderada a lo largo del último siglo. En la evolución histórica de éstas destacan los siguientes aspectos:

- El volumen de aguas anuales destinadas al consumo urbano se ha mantenido estable en las tres últimas décadas, motivado por el escaso o nulo crecimiento demográfico de la isla.
- El turístico no posee una infraestructura demasiado desarrollada, apareciendo las primeras demandas significativas de este sector en la última década.
- A partir de los años ochenta se producen demandas mínimas en sector industrial (Cooperativas vinícolas y Queserías).
- El incremento general de las necesidades totales de la isla son debidas al uso agrícola ,destinado a cultivos de Piña Tropical (30% de los regadíos), Plátanos (22% de los regadíos), Frutales (18% de los regadíos) y patatas y hortalizas (10% de los regadíos).



Balance hídrico de recursos y demandas en las Islas Canarias del año 1.999



El Ciclo hidrogeológico del agua en las Islas Canarias

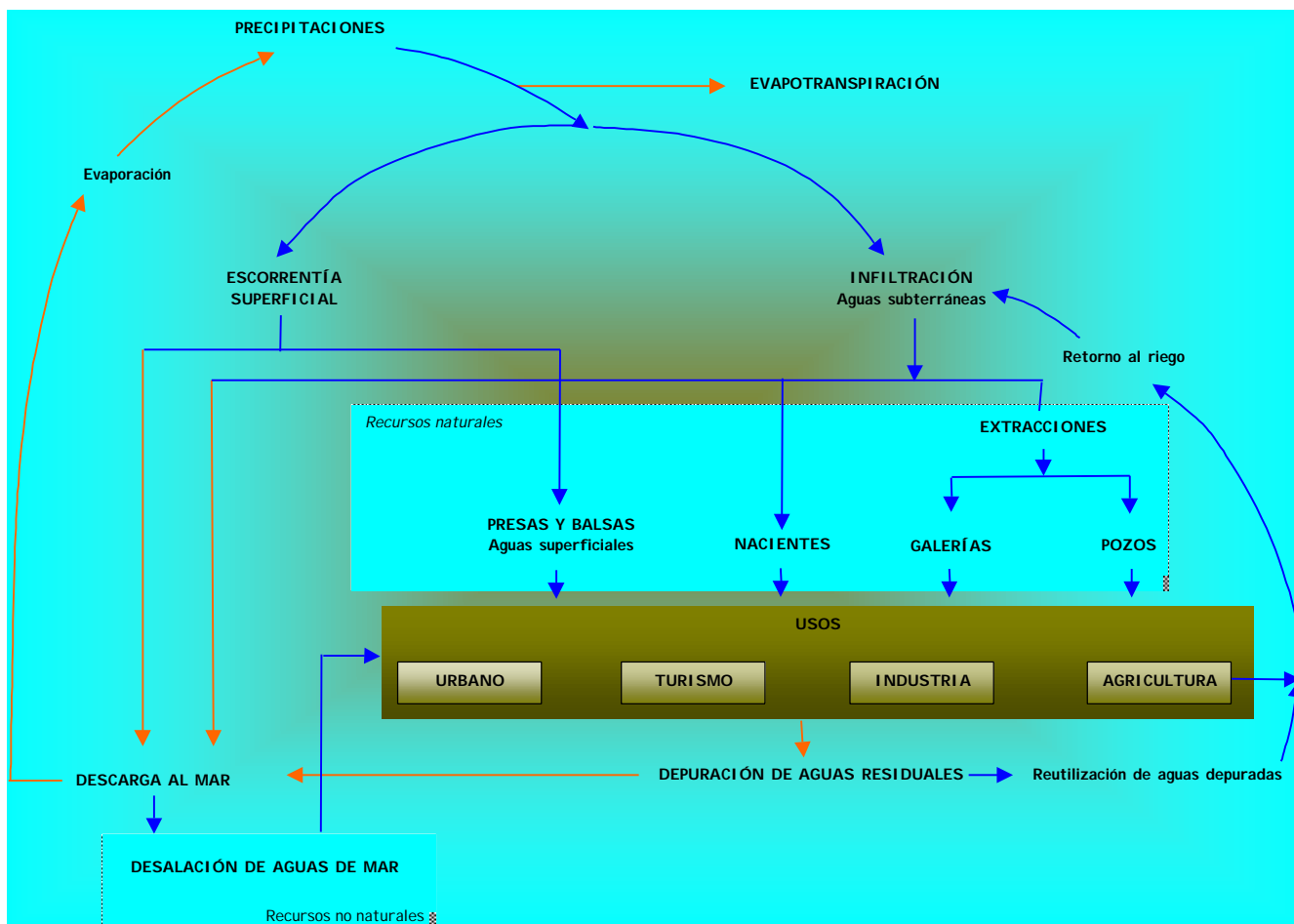
El origen de las aguas integrantes del ciclo hidrogeológico de las Islas Canarias es el mar. Las entradas de agua en el ciclo se realizan de dos formas;

- Naturalmente mediante la evaporación y posterior condensación en forma de precipitaciones.
- Mediante la producción de aguas desaladas del mar para uso directo.

En líneas generales, a las aguas caídas sobre un terreno a través de las precipitaciones les cabe tres posibilidades:

- En un primer lugar puede circular sobre el propio terreno, constituyendo lo que se denomina como escorrentía superficial a través de cauces o redes de drenaje no definidas. El aprovechamiento de las escorrentías superficiales mediante, la construcción de presas y embalses, constituyen las reservas de aguas superficiales de las Islas Canarias. El resto de estas escorrentías son vertidas directamente al mar.
- Como segunda posibilidad pueden infiltrarse hacia las capas inferiores del terreno generando los recursos hídricos subterráneos de las islas. Cuando estas aguas son retenidas en los acuíferos participando en la recarga de éstos. Por otro lado esta agua infiltradas pueden llevar a una descarga al mar a través de la escorrentía subterránea. En esta segunda posibilidad influirá en gran medida los valores de permeabilidad del suelo.
- En tercera alternativa las aguas procedentes de descarga de las lluvias pueden evaporarse desde el suelo. Esta pérdida de aguas desde el suelo se realiza por efecto de la energía solar de forma directa, o a través de las plantas, que toman a través de sus raíces la humedad del terreno y la liberan por las hojas en forma de vapor, proceso éste que se denomina transpiración. El fenómeno conjunto formado por la evaporación directa y la transpiración constituye las pérdidas por evapotranspiración.

Tanto las aguas naturales como las desaladas del mar una vez usadas generan aguas residuales que tras su depuración son destinadas a riego en la agricultura o vertidas al mar, cerrándose el ciclo hidrogeológico del agua.



El Ciclo hidrológico en las Islas Canarias

Isla	Recursos naturales															Recursos no naturales	Reutilización de aguas depuradas (hm3/año)	Usos de las aguas			
	Pluviometría (hm3/año)	Evapotranspiración (hm3/año)	Escorrentía superficial (hm3/año)	Infiltración (hm3/año)	Recursos superficiales			Descargas al mar		Recarga eficaz de los acuíferos (hm3/año)	Recursos subterráneos					Desalación de aguas de mar (hm3/año)		Uso Urbano (hm3/año)	Uso Turístico (hm3/año)	Uso Industrial (hm3/año)	Uso Agrícola (hm3/año)
					Recursos (hm3/año)	Embalses y balsas (unidades)	Estanques y depósitos (unidades)	Descarga al mar por escorrentía superficial (hm3/año)	Descarga al mar por escorrentía subterránea (hm3/año)		Recursos Totales (hm3/año)	Nacientes (hm3/año)	Galerías (hm3/año)	Pozos (hm3/año)	Variación de las reservas de acuíferos (hm3/año)						
Gran Canaria	466	304	75	87	11	62	711	64	40	47	90	0	0	90	-43	100	7	56	14	6	30
Fuerteventura	183,7	164,5	4,9	17,3	4	3	-	0,9	9	5,3	2,7	0,7	0	2	2,6	17	5	4	3,8	0	10
Lanzarote	126,8	122,2	1,3	3,3	0,1	1	6.000	1,2	3,2	0,1	0,1	0	0	0,1	0	24	3	7,5	11	0,7	3,2
Provincia de Las Palmas de Gran Canaria	776,5	590,7	81,2	107,6	15,1	66	6.711	66,1	52,2	52,4	92,8	0,7	0	92,1	-40,4	141	15	67,5	28,8	6,7	43,2
Tenerife	865	480	22	363	2,3	62	8.105	19,7	205	158	203,9	8	125,5	70,4	-46	9	9	69,6	28	11,8	96,8
La Palma	518	238	15	265	0,8	1	-	14,2	196	69	68	10	39	19	1	0	0	7,2	0,1	0	60
La Gomera	140	69	8	63	3,2	35	-	4,8	47	16	10,2	5,9	0,4	3,9	5,8	0	0,1	1,3	0,5	0	8,2
El Hierro	100,9	73,3	0,6	27	-	-	-	0,6	24,9	2,1	2,47	0	0,24	2,23	-0,37	0,215	0	0,58	0,2	0,02	1,34
Provincia de Santa Cruz de Tenerife	1.623,9	860,3	45,6	718	6,3	98	8.105	39,3	472,9	242,1	284,6	23,9	165,1	95,5	-40	9,21	9,1	78,68	28,8	11,82	166,34
Canarias	2.400,4	1.451	126,8	822,6	21,4	164	14.816	105,4	525,1	294,5	377,4	24,6	165,1	187,63	-80,4	152,2	24,3	146,18	57,6	18,52	209,54

Fuentes: Plan Hidrológico de Canarias, Actos Preparativos. 1.999

***Fouling indices of desalination membranes
-Their drawbacks and prospects for improvement***

Anastasios J. Karabelas and Stergios G. Yiantsios
*Chemical Process Engineering Research Institute and
Department of Chemical Engineering, Aristotle University of Thessaloniki,
P. O. Box 361, 570 01, Thessaloniki, Greece.*

Despite the significant technological progress made in membrane desalination, a reliable method for determining the fouling propensity of feedwaters is sorely missing. The plethora of factors and their complicated synergisms, responsible for membrane fouling, may partly justify the unsatisfactory state-of-the-art on this topic. A brief assessment of the currently employed Silt Density Index (SDI), and of similar indices, suggests that they are unreliable and that systematic R & D efforts are required for developing improved predictive tools. The approach taken at CPERI, in this direction, and results of an ongoing project are summarized.

Factors and Synergisms

Colloidal solids (0,001 μm to 1 μm) are considered to be the most dangerous foulants of RO membranes, as they are difficult to be totally captured/separated in pretreatment processes and prone to adhere onto the membranes under typical operating conditions. Three types of such colloidal matter are present in sea water; i.e.

- *biological* (microorganisms, related debris)
- *organic* (humic acids, lignins, tanins, polysaccharides, lipoproteins, etc) and
- *inorganic* (clay, silt, iron and manganese oxides, calcium carbonate, etc).
-

Assuming that, with a properly selected dosage of disinfectants and additives, biofouling and scaling can be effectively controlled (as is the case in most desalination plants today), colloidal organic and inorganic matter is mainly responsible for degrading membrane performance. Indeed, recent reports based on a large number of membrane autopsies, from plants throughout the world, conclude that organic deposits together with iron oxide, silica and aluminum oxide account for more than 70 % of the membrane foulants. A multitude of chemical and physical factors and their synergisms (not fully understood) are responsible for the so-called “colloidal and/or organic fouling” phenomena; i.e. the agglomeration of assorted colloidal matter and adherence to the membrane. The main competing factors are outlined here.

Fluid mechanical effects play a dominant role in the performance of RO elements, which operate in the *cross-flow* mode. Two key flow parameters have

been identified that affect fouling, i.e. the *fluid shear* at the membrane surface and the water *permeation flux*. Their combined influence determines the appearance of *concentration polarization* (i.e. colloidal particle concentration at the membrane surface reaching the maximum packing density). The effect of permeate flux is known to be relatively more important, a fact which is reflected in membrane manufacturers recommendations, suggesting to maintain a lower flux in the case of relatively high SDI for controlling fouling. The concept of “critical flux” associated with a sharp increase of concentration polarization and fouling is also a manifestation of such permeate flux effects. Other significant flow effects in commercial modules are related to the spacers in-between membrane sheets, which promote beneficial fluid mixing (reducing concentration polarization) but result in undesirable shear inhomogeneity and ‘dead-flow’ regions favouring fouling.

Physicochemical interactions between dispersed and/or dissolved species as well as between dispersed /dissolved species and membrane also play a major role. These interactions determine the efficiency of particle *attachment* onto the membrane, and the *backtransport* characteristics of the concentrated colloidal layers developing at the membrane surface. Highly stable colloids tend to form a relatively thin layer on the membrane, allowing operation under nearly steady permeation flux, whereas reduced stability leads to copious particle deposition and continuing flux decline. Colloid stability is usually enhanced if colloid particle charge is significant (ζ – potential < -30 mV); this fact is reflected in manufacturers recommendations, setting less strict SDI limits for feedwater in such cases. However, it will be noted that the brine salinity tends to increase along an RO array influencing particle charge and colloid stability, enhancing also the adverse concentration polarization effects.

A critique of Fouling Indices

The most common and widely accepted tool for prediction of colloidal fouling is the SDI (Silt Density Index). Other indices are the MFI (Modified Fouling Index) and MPFI (Mini Plugging Factor Index). All three are based on *dead-end* filtration through a 0.45 μm Millipore microfilter. Recently, the UF-MFI test has been introduced, employing ultrafiltration membrane modules, although concrete recommendations on UF-MFI limits or criteria have not been established yet. Other measurements, such as turbidity, particle counts and electrophoretic mobility are also employed, but are not accepted as reliable predictive tools.

The SDI test is, strictly speaking, an empirical one and a very poor simulation of actual RO conditions. *The absence of actual membrane-foulant interactions, the absence of shear (as opposed to the cross-flow operation of commercial membrane modules), the significantly higher permeation rate (> 1 cm/s in the filter versus < .001 cm/s in RO membranes), and the doubtful rejection of particles smaller than 0.45 μm (nominal pore size of the filter) are the most important concerns.* These poorly rejected particles are more likely to foul a membrane than larger ones, since the resistance of a cake layer is inversely

proportional to the square of particle size. Another criticism is that SDI is not *linearly* related to colloid particle concentration, and does not distinguish between fouling mechanisms during the test (i.e. between pore blocking, cake filtration, and cake consolidation).

An important issue related to *colloidal stability* is the porosity and permeability of the colloidal deposits formed during filtration. It is known that at conditions of reduced stability particulate deposits are more porous and permeable. This behaviour has been observed in experiments performed with various membranes (UF, RO) and with Millipore microfilters of the SDI test. In the cross-flow operation of real modules, this beneficial effect is offset by the significantly larger amounts of deposits formed on the membranes, causing blockage of the narrow flow passages and increased pressure drop. However, in the standard SDI test and in MFI and UF-MFI tests this behaviour would result in smaller fouling indices, thus giving wrong trends.

It is commonly believed that the low pressure RO- as well as NF-membranes are more sensitive to fouling. Since the relative resistance of deposited material to that of the clean membrane may determine the degree of fouling, part of this sensitivity must be attributed to the lower resistance of the above membranes. Thus, it is rather surprising that the recommendations are less strict for NF membranes (i.e. MFI: 0-2 s/L² for RO vs. 0-10 s/L² for NF).

Linearity of the MFI with colloid concentration has been demonstrated in several test cases. However, the problems of inadequately coping with the effect of shear, membrane interactions, fluxes and particles smaller than 0.45 µm still remain. Literature reports show that there exists a poor correlation of the SDI and MFI with colloidal fouling observed at RO and NF installations, and attribute this problem mainly to very small colloidal particles. This has led to the development of the UF-MFI, which has, however, the same inherent drawbacks as the other tests. Reported cases of unreliable SDI predictions, as well as more details on fouling indices, are included in a paper by the authors presented in the IDA Bahrain Conference (2002).

Prospects for improvement

Efforts to develop a reliable and efficient tool are faced with two main difficulties:

- i) The variability of feedwaters and their large number of constituents, some of which have not been adequately identified even though their effect on fouling may be significant.
- ii) The very large difference in time scales between a reasonably fast fouling test (of order 10⁰-10¹ hrs) and the expected long operating period of commercial RO modules over which fouling manifests itself (of order 10³-10⁵ hrs).

Obviously a significant amount of R&D work is required to cope with these difficulties. In our Laboratory a project, supported by MEDRC, is aimed at assessing fouling indices and developing more reliable predictive tools. The present phase of the project involves two steps: a) to generate reliable RO fouling laboratory data under realistic, yet well-controlled, conditions. b) On the basis of such results, and with the same type of feedwaters, to assess the performance of existing techniques for colloidal fouling prediction (i.e. SDI, MFI) and explore variations or modifications towards an improved test. Two kinds of reference colloidal species have been selected for testing, i.e. *iron oxide*, as a typical inorganic colloidal foulant, identified in numerous autopsies and recognized as such by manufacturers providing specific recommendations; *humic acids* as a typical organic foulant.

A very recent paper by the authors, in *Desalination*, presents an account of this work and of results obtained with colloids of iron oxide. One of the most useful results of the experimental work was that a range of fouling species concentration was found, where a *linear* relationship between fouling rate and concentration existed. On the basis of this relationship, projections of membrane performance could be made for iron concentrations encountered in practice. A second important result was that an assessment of the SDI could be made, by performing SDI measurements under conditions similar to the fouling tests. The most interesting observations were that:

1. SDI predictions were close to membrane manufacturers recommendations on acceptable iron concentrations in membrane feed waters.
 2. A notable sensitivity of the SDI was observed with particles that are much smaller than the test filter pore size, and, hence, very poorly rejected.
 3. On the basis of the fouling experiments it appears that the SDI may not be conservative enough, in the sense that rather high fouling rates would be obtained for SDI values within the recommended range.
 4. SDI cannot predict fouling rates and, hence, it cannot discriminate between membranes of different resistances to water flow (i.e. low vs. high pressure RO).
- The approach to be taken, in the next phase of the project, regarding fouling index improvements is to test various filters, as fully retentive as possible, yet more sensitive to fouling than RO membranes. An important consideration is to closely simulate flow and other conditions prevailing in real RO membrane modules.

Concluding remarks

The task of developing reliable fouling predictive tools is extremely important for the desalination industry and should be viewed as a matter requiring close collaboration between researchers on one hand and plant designers, operators, equipment manufacturers on the other. Complete characterization of various feed-waters as well as systematic collection and documentation of operating data are necessary to create a comprehensive data-base, which would be useful (among other applications) in guiding R&D efforts and in validating improved predictive methods.

LISTADO DE LIBROS RELACIONADOS CON

LA DESALACIÓN DE AGUAS

- **Merten, U. (Ed.)** *Desalination by Reverse Osmosis*. MIT Press. Cambridge, Massachusetts. (1966).
- **Delyannis, E.** *Status of solar assisted desalination: A review desalination*. (1967).
- **Popkin, Roy.** *Desalination: Water for the World's Future*. Frederick A. Praeger. New York. (1968).
- **Flinn, J.E.** *Membrane Science and Technology*. Plenum Press. New York. (1970).
- **McDermott, J.** *Desalination by Reverse Osmosis*. Noyes Data Corp. Park Ridge, New Jersey. (1970).
- *Agreement on the implementation of a European concerted action project in the field of metallurgy on the topic "Materials for desalination plants"*. Brussels. (1971).
(Más información en Amazon.com)
- **Milau Bier (Ed.)** *Membrane Proceses in Industry and Biomedicine*. Plenum Press. New York. (1971).
- **Rogers, C.E. (Ed.)** *Permselective Memembranes*. Marcel Dekker. New York. (1971).
- *Desalination 1972*. (1972).
(Más información en Amazon.com)
- **Lacey, R.E.; Loeb, S. (Eds.)** *Industrial Processing with Membranes*. Wiley-Interscience. New York. (1972).
- **Lonsdale, H.K.; Podall, H.E. (Eds.)** *Reverse Osmosis Membrane Research*. Plenum Press. New York. (1972).
- **McDermott, J.** *Industrial Membranes-Design and Applications*. Noyes Data Corp. Park Ridge, New Jersey. (1972).
- **Bakish, Robert. (Ed.)** *Practice of Desalination*. Noyes Data Corporation. New Jersey. (1973).
- **Hwang, Sun-Tak; Kammermeyer, Karl.** *Membranes in Separation*. John Wiley & Sons. New York. (1975).
- **Keller, P.R.** *Membrane Technology and Industrial Separation Techniques*. Noyes Data Corporation. Park Ridge, New Jersey. (1976).
- **Meares, P. (Ed.)** *Membrane Separation Processes*. Elsevier Scientific Publishing Co. Amsterdam. (1976).
- **Passino, Roberto.** *Biological & Artificial Membranes & Desalination of Water: Proceedings of Study Week of the Pontifical Academy of Science*. Elsevier Scientific Publishing Co. Amsterdam. (1976).

- **Madsen, R.F.** *Hyperfiltration and Ultrafiltration in Plate and Frame Systems*. Elsevier Scientific Publishing Co. Amsterdam. (1977).
- **Sourirajan, S. (Ed.)** *Reverse Osmosis and Synthetic Membranes*. National Research Council. Ottawa, Canada. (1977).
- **K.S. and Laird, A.D.K. Spiegler (Eds.)** *Principles of Desalination*. Academic Press. New York. (1980).
- **Laird, A.D.; Spiegler, K.S. (Eds.)** *Principles of Desalination Pt. B*. 2nd Edition, Academic Press. New York. (1980).
- **R. Cooper, A. (Ed.)** *Ultrafiltration Membranes and Applications*. Plenum Press. New York. (1980).
- **F. Turbak, A.** *Desalination*. American Chemical Society. (1981).
- **F. Turbak, A. (Ed.)** *Synthetic Membranes: Volume I & II*. ACS Symp. Ser 153. American Chemical Society. Washington, D.C. (1981).
- **Noyes.** *Desalination by Reverse Osmosis*. Noyes Publications. (1981).
- **El Hares, H. (Ed.)** *Automatic Control in Desalination and the Oil Industry: Appropriate Application*. 1st Edition. Pergamon Press. (1982).
- **Porteous, Andrew (Ed.)** *Desalination Technology: Developments & Practice*. Elsevier Science. (1983).
- **Schneider, K. Van Gassel, T.** *Membranedestillation*. Chem.-Ing.-Tech. 66. (1984).
- **Kesting, R.E.** *Synthetic Polimeric Memembranes*. John Wiley. New York. (1985).
- **Eisenberg, T.N. and Middlebrooks, E.J.** *Reverse Osmosis Treatment of Drinking Water*. Ann Arbor Science. Stonehem, Mass. (1986).
- **Khan, Ars Hassan.** *Desalination processes and multistage flash distillation practice (Desalination and Water Purification, Vol. 1)*. Elsevier Science. (1986).
- **Kotob, S. (Ed.)** *Automatic Control in Petroleum, Petrochemical and Desalination Industries*. 1st Ed. Pergamon Press. (1986).
- **Lior, Noam. (Ed.)** *Measurements and Control in Water Desalination (Desalination and Water Purification, Vol 2)*. Elsevier Science. (1986).
- **Albrech, R. Rantenbach, R.** *Membrane Processes*. John Wiley & Sons. New York. (1989).
- **Heitmann, Hans-Gunter (Ed.)** *Saline Water Processing: Desalination and Treatment of Seawater, Brackish Water and Industrial Waste Water*. 1st Ed. John Wiley & Sons. (1989).
- **Rigola Lapeña, M.** *Tratamiento de aguas industriales: aguas de procesos y residuales*. ISBN: 84-267-0740-8. Edit: Marcombo, S.A. Barcelona. (1989). Teléfono: 933 180079 Fax: 933 189339 C.electrónico: marcombo.boixareu@marcombo.es
- **Levine, S.N.** *Selected Papers on Desalination and Ocean Technology*. Peter Smith Pub. (1990).

- **Porter, M.C.** *Handbook of Industrial Membrane Technology*. Noyes Publications. N.J.: (1990).
- *The Desalting ABC's* O.K. Buros. International Desalination Association. Topsfield. Massachusetts. (1990).
- **Tilhage, J.T.; Woto, T.; Yates, R.** *Solar- Powered Desalination: A Case Study from Botswana*. Unipub. (1990).
- **Balaban, Miriam (Ed.)** *Desalination and Water Re-Use: Proceedings of the 12th International Symposium: Evaporative Proceses-Operations, Cogeneration Electrodiálisis mater*. Hemisphere Pub. (1991).
- **Balaban, Miriam (Ed.)** *Desalination and Water Re-Use: Proceedings of the 12th International Symposium: Fouling and Scaling-Evaporative and Ro Wastewater Treatment synth*. Hemisphere Pub. (1991).
- **Balaban, Miriam (Ed.)** *Desalination and Water Re-Use: Proceedings of the 12th International Symposium: Seawater Reverse Osmosis Solar Processes Pretreatment (Instituti)*. Hemisphere Pub. (1991).
- *Desalination and Water Re-Use*. Symposium Series, No 125. (1991).
(Más información en Amazon.com)
- *Desalination research : hearing before the Subcommittee on Science of the Committee on Science, Space, and Technology, U.S. House of Representatives, One Hundred Second Congress, first session, July 17, 1991*. U.S. G.P.O. : (Supt. of Docs., Congressional Sales Office, distributor). (1991).
- **Institution of Chemical Engineers Staff.** *Desalination & Water Re-Use*. Hemisphere Publishing Corporation. (1991).
- **Mulder, M.** *Basic Principle Of Membrane Technology*. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht. (1991).
- **Balaban, Miriam (Ed.)** *Desalination Directory*. Balaban International Science Services. (1992).
- **Nakagawa,T. Osada, Y.** *Membrane Science and Technology*. Lavoisier. Paris. (1992).
- **Belfort, G.** *Synthetic Membrane Processes*. Academic Press. New York. (1993).
- *Desalination and water reuse: 1994 desalination directory*. Balaban Desalination Publishers. 6th ed. (1994).
- **El-Sayed, Y.M., Speigler, K.S.** *A Desalination Primer*. Balaban Publishers. (1994).
- **Manwell, J. McGowan, J.** *Recent renewable energy driven desalination system research and development in North America Desalination*. (1994).
- **Byrne, W.** *Reverse Osmosis. A practical guide for industrial users*. Tall Oaks Publishing, Inc. Littleton, CO. (1995).
- **Scott, K.** *Handbook of Industrial Membranes*. Elsevier Advanced Technology. Oxford. (1995).

- **Waste Management Research Goup.** *Desalination Industry in Saudi Arabia: A Strategic Entry Report, 1996.* Strategic Planning Series. Icon Group International. (1996).
- ROSA. *Reverse Osmosis System Análisis.* Down Chemical Company. (1997).
- **W. Dally, J.** *Introduction to Engineering Design Solar Desalination.* College House Enterprises Llc. (1997).
- **AWWA, Lyonnaies des Eaux, WRCSA.** *Tratamiento del agua por procesos de membrana.* McGraw-Hill. Madrid. (1998).
- **Ibrahim Perera, J.C.** *Desalación de aguas.* Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Colección Señor nº 23. Madrid. (1998) ISBN:84-380-0156-4. Edit: Privada. Teléfono: 913 081988. C.electrónico: libreria@ciccp.es
- *Nuclear Desalination of Sea Water: Proceedings of an International Symposium.* Interational Atomic Energy. (1998).
- **Fariñas Iglesias, M.** *Ósmosis Inversa. Fundamentos, tecnología y aplicaciones.* ISBN: 84-841-2126-0. Edit. McGraw Hill/Interamericana de España, S.A.U. Aravaca. (1999). Teléfono: 913 728409.
- **Waste Management Research Goup.** *Desalination Industry in Saudi Arabia: A Strategic Entry Report, 1999.* Strategic Planning Series. Icon Group International. (1999).
- **Zito, R.** *Electrochemical Approaches to Water Processing.* Technology Research Laboratories, Inc. Ed. Reviews. (1999).
- **Medina San Juan, J.A.** *Desalación de aguas salobres y de mar.* ISBN:84-7114-849-8. Edit:Mundi-Prensa. España. (2000). Teléfono:914 36 37 00 Fax: 915 75 39 98 C.electrónico: pedidos@mundiprensa.es.
- **Iaea.** *Introduction of Nuclear Desalination Technical Reports.* Technical Reports Series (International Atomic Energy Agency), 400. (2001).

OTROS

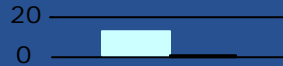
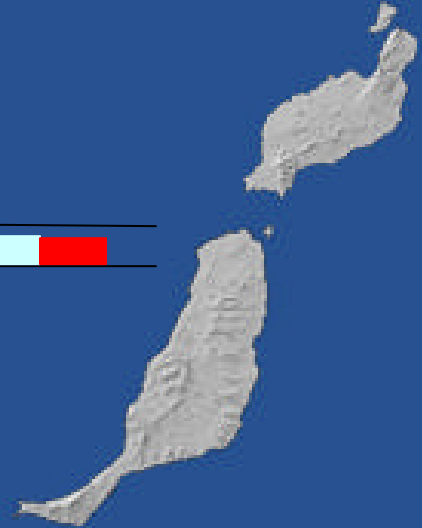
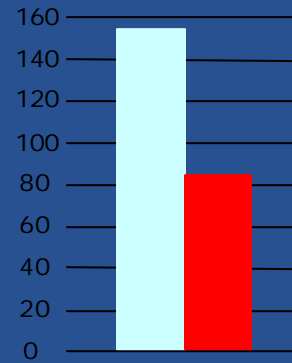
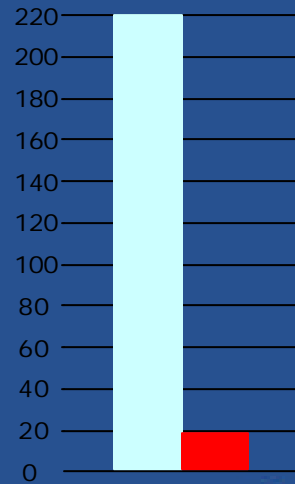
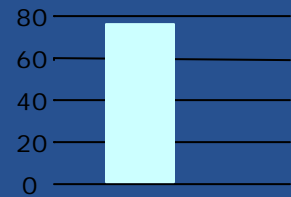
- **D. Howe, Everett.** *Fundamentals of Water Desalination.* Environmental Science & Technology Series Vol.1. New York.
(Más información en Yahoo.com)
- **Herbert, L.S.** *Desalination – a survey of Australian plants.* Dept. of National Development.
(Más información en Amazon.com)
- **Ho, G.E.** *Solar powered Desalination for remote areas results of research carried out as MERIWA Project No. E239 at the Institute for Environmental Science at Murdoch University.* Distributed by MERIWA.
(Más información en Amazon.com)



- *International Specialist Conference on "Desalination and Water Reuse"*. Conference papers. Remote Area Developments Group, Institute for Environmental Science, Murdoch University.
(Más información en Amazon.com)
- **L. Owens, Dean.** *Practical principles of ion exchange water treatment*. Tall Oaks Publishing, Inc. Littleton, CO.
- *Report on desalination for England and Wales*. H.m. Stationery Off.
(Más información en Amazon.com)
- **Schutte, C.F.** *Desalination: a South African perspective*. Water Research Commission.
(Más información en Amazon.com)



Advances in environmental aspects of desalination: the Canary Islands experience

Manuel Hernández-Suárez Ph.D.
Canary Islands Water Center



 Total water use
 Desalination



Pérez-Talavera, J.L. and Quesada-Ruiz, J.J. (Ionics, S.A.)

ocean effects of brine discharge

Energy and Water Research Center (CIAE-ITC)

renewable energies and desalination

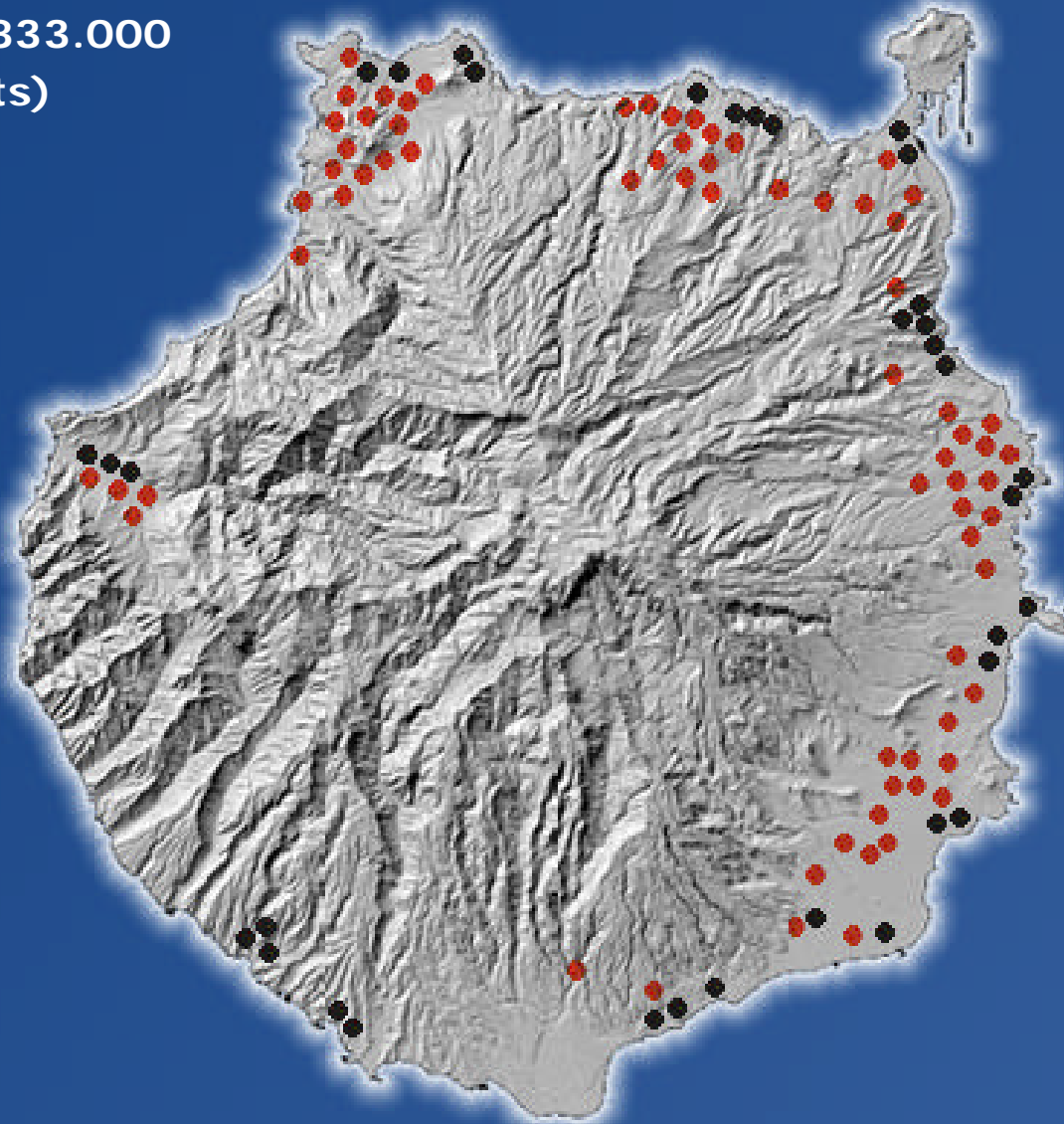
Barreto, M. (R.O. Kinetics)

energy savings in RO plants

GRAN CANARIA

DESALINATION PLANTS

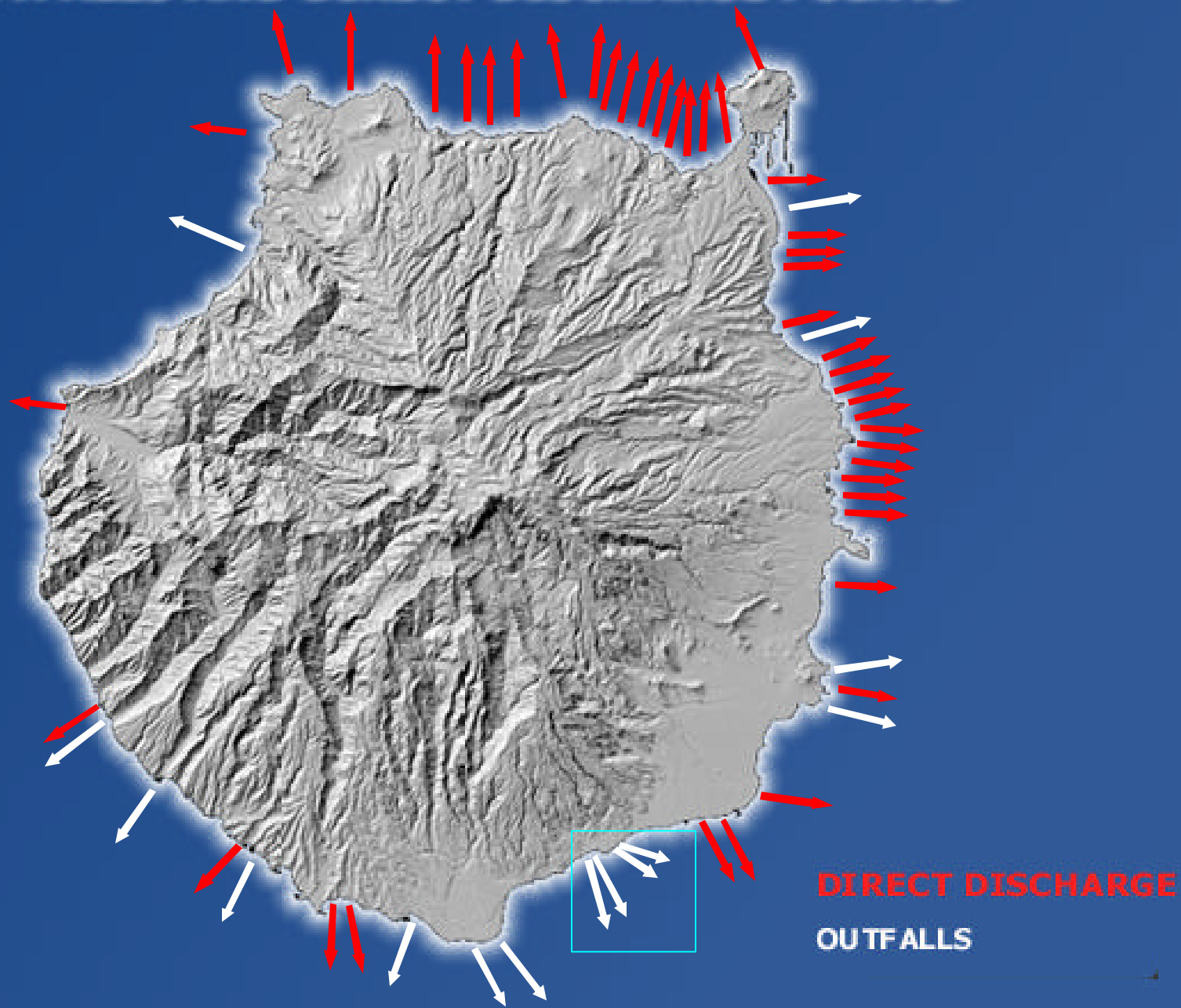
Population: 833.000
(13% tourists)



- Sea water
- Brackish water

10 km

OUTFALLS AND DIRECT DISCHARGE POINTS

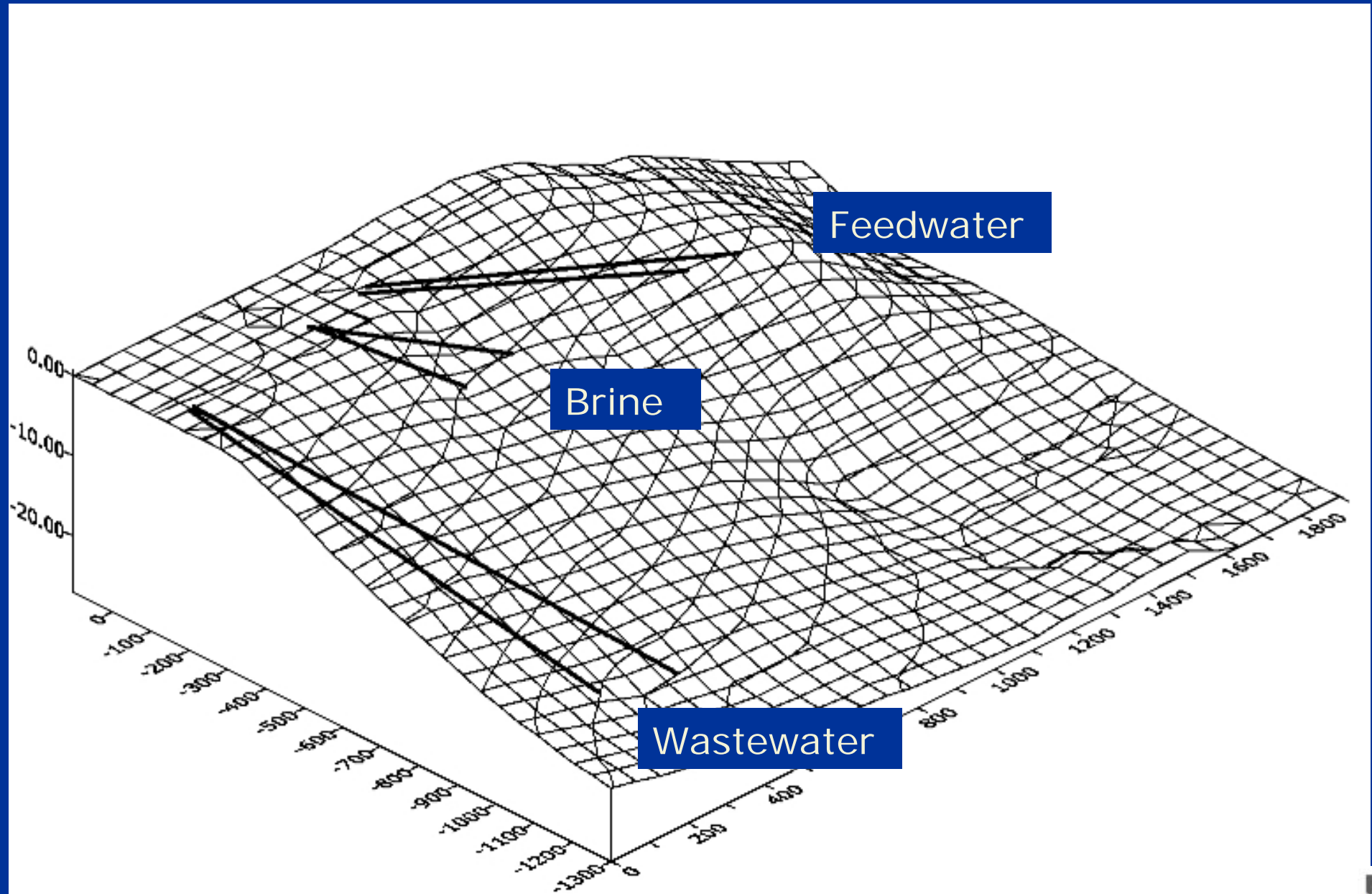


10 km

DIRECT DISCHARGE
OUTFALLS

research on coastal effect of brine discharge

(Perez-Talavera and Quesada-Ruiz, 2001)



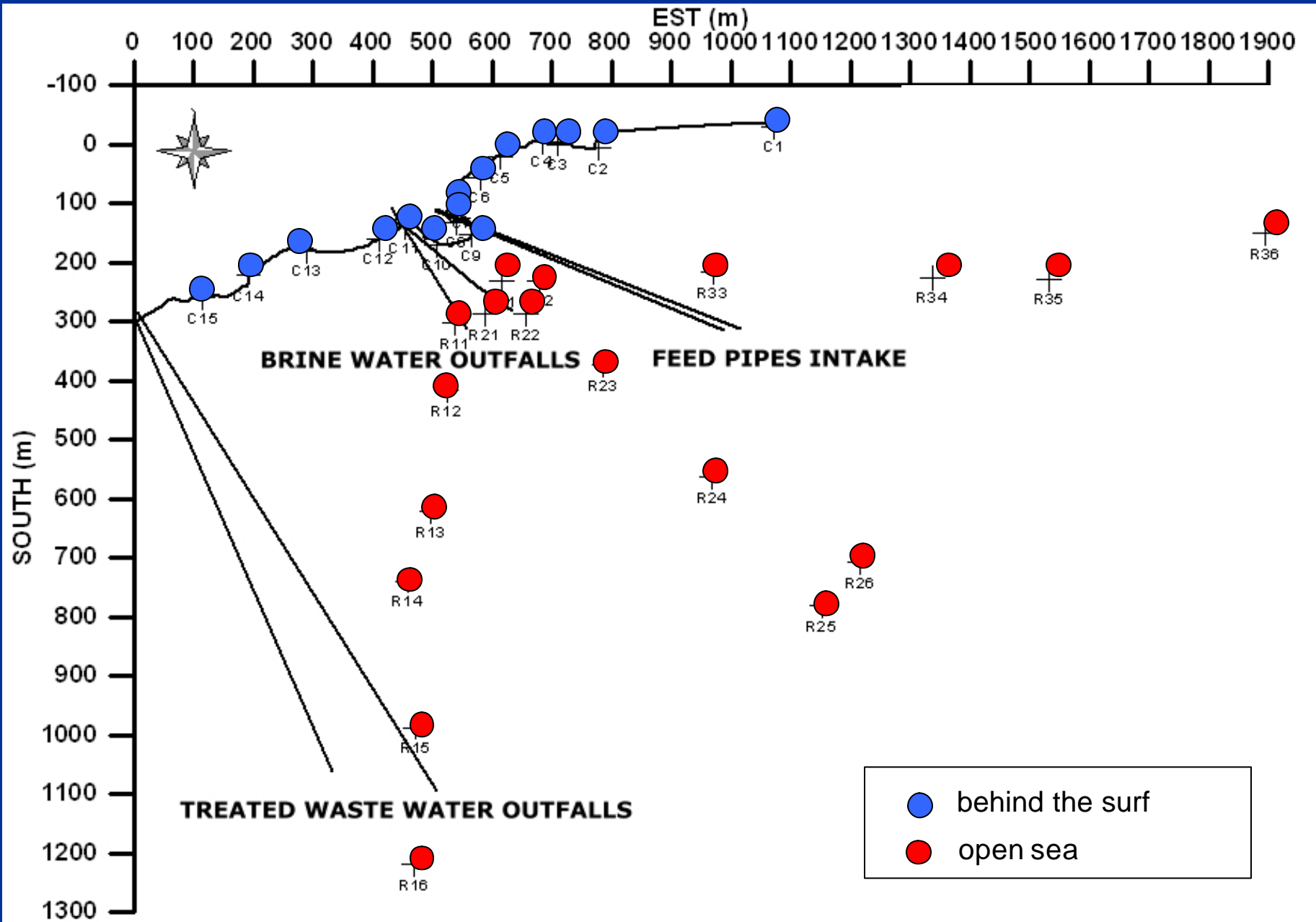
brine outfall

(Perez-Talavera and Quesada-Ruiz, 2001)



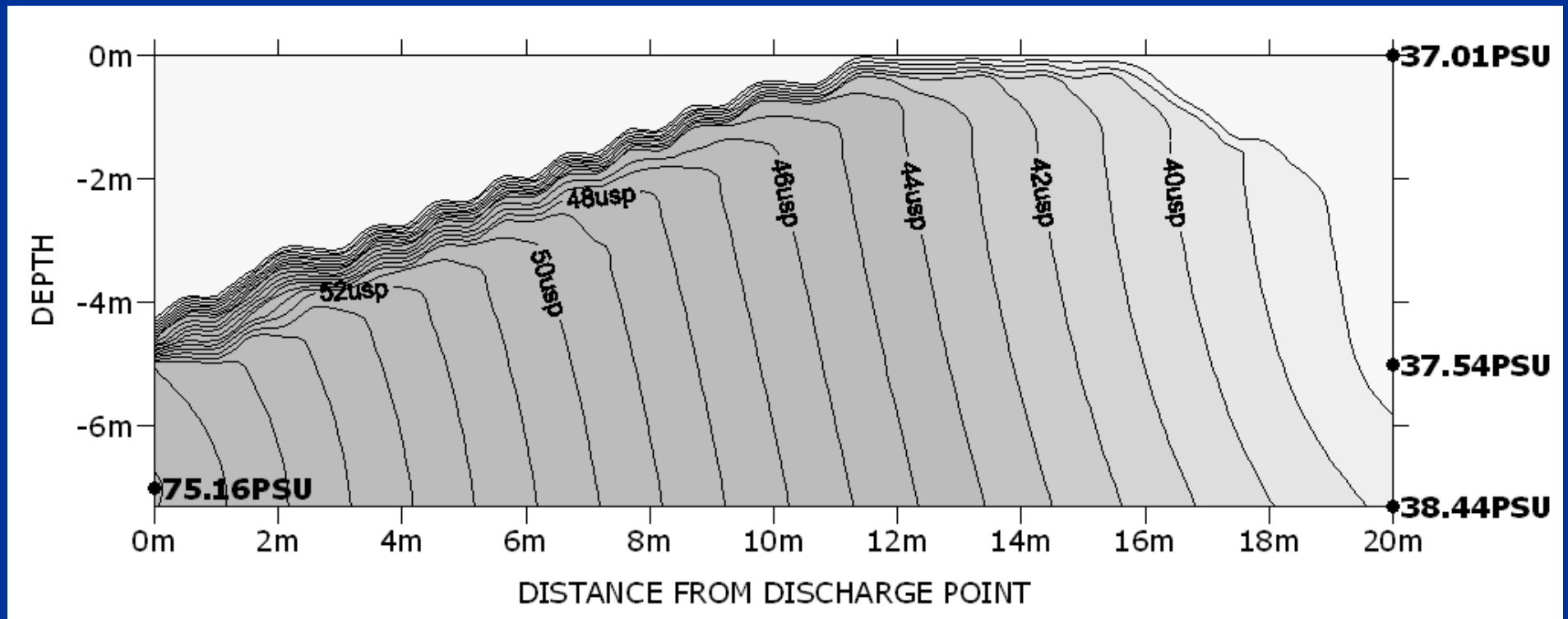
sampling around the brine outfall

(Perez-Talavera and Quesada-Ruiz, 2001)



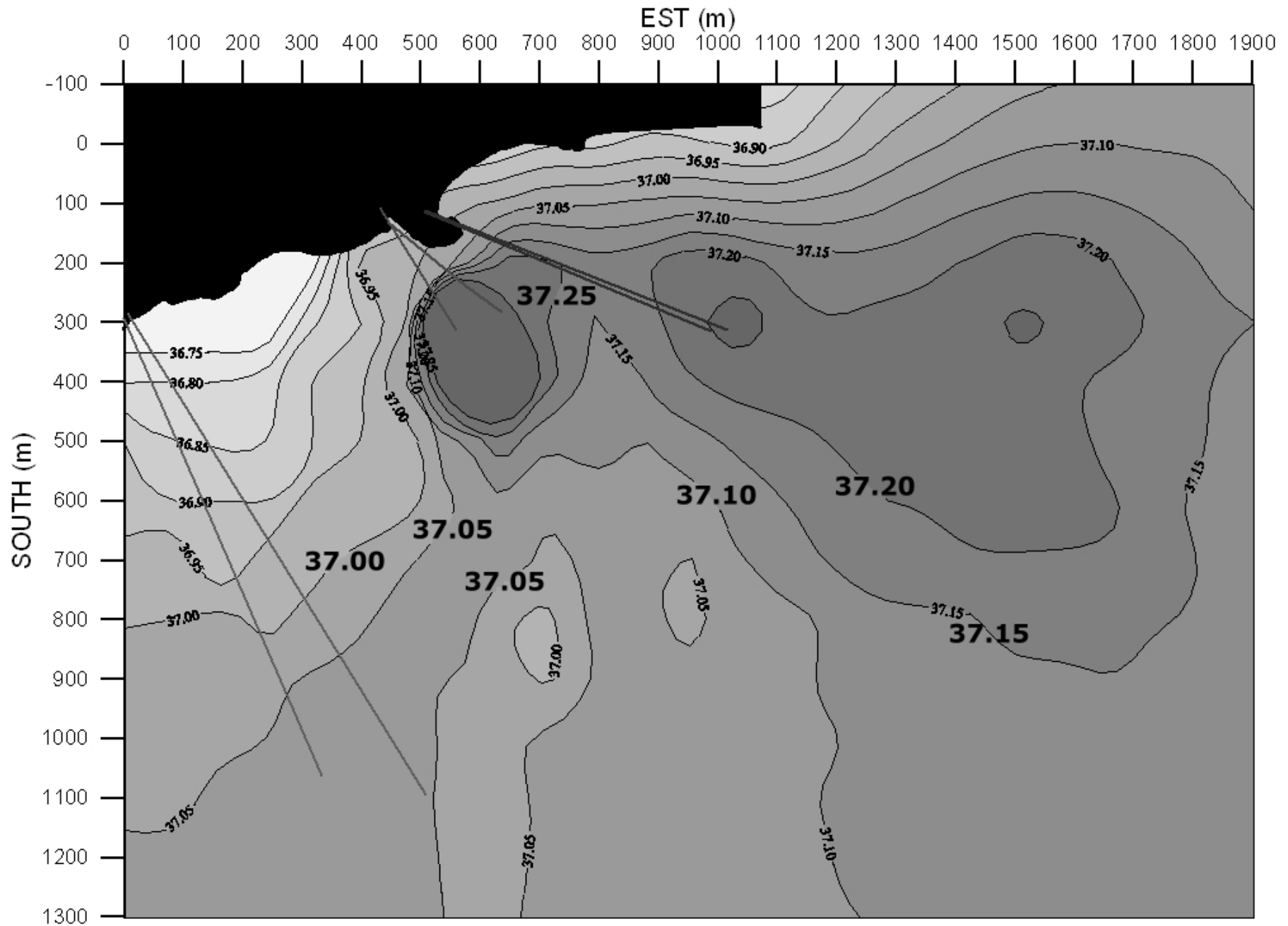
salinity next to the brine outfall

(Perez-Talavera and Quesada-Ruiz, 2001)



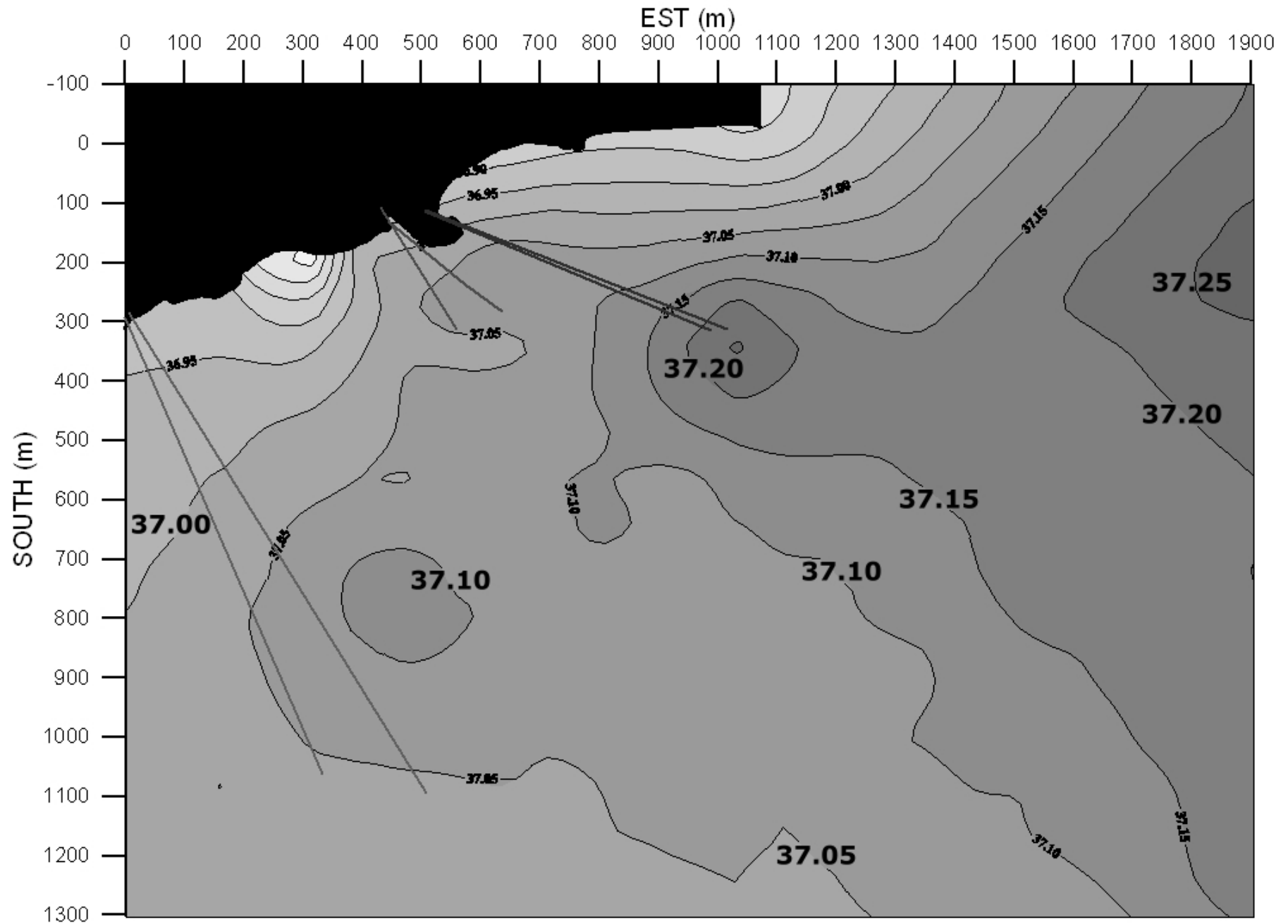
salinity around the brine outfall (seafloor)

(Perez-Talavera and Quesada-Ruiz, 2001)



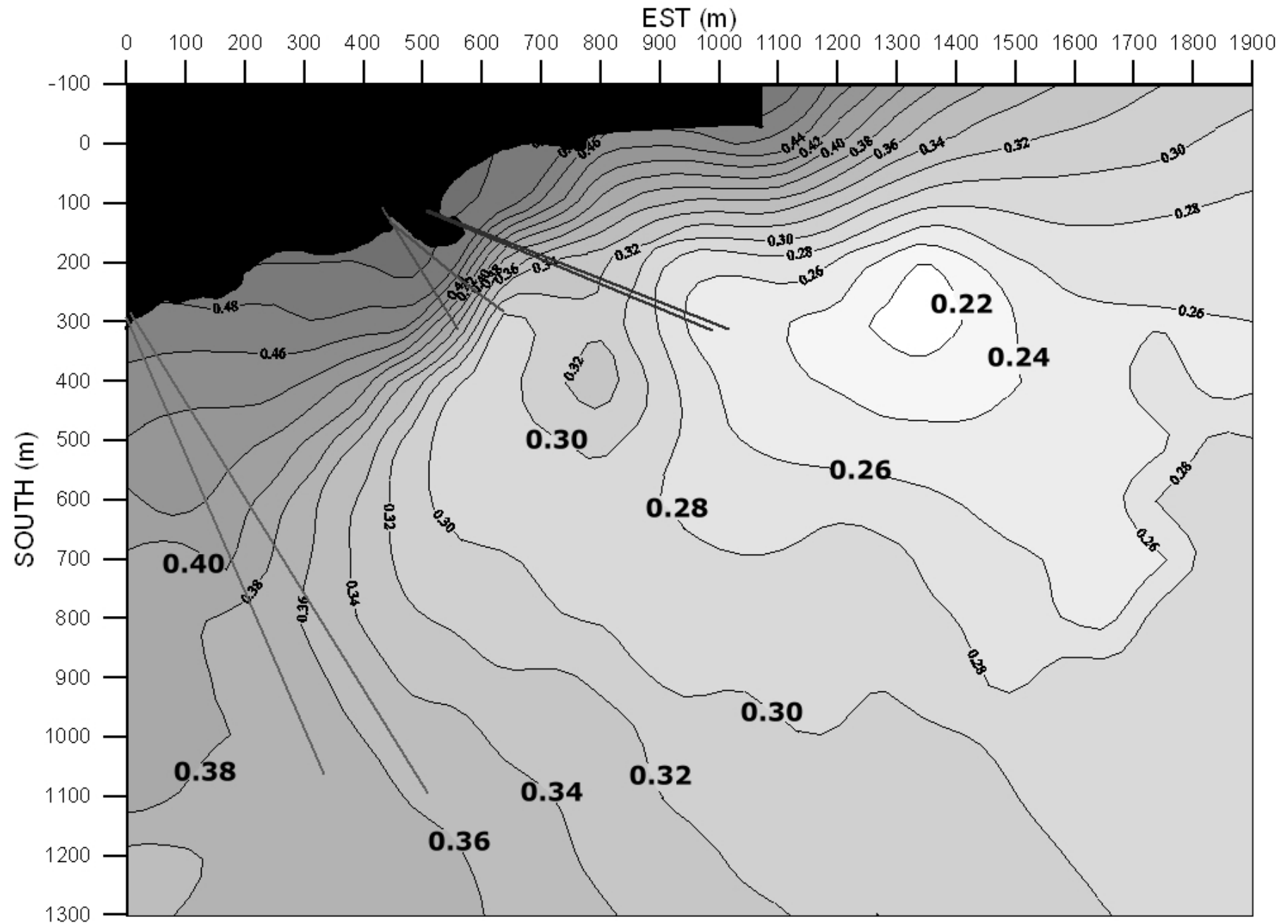
salinity around the brine outfall (surface)

(Perez-Talavera and Quesada-Ruiz, 2001)



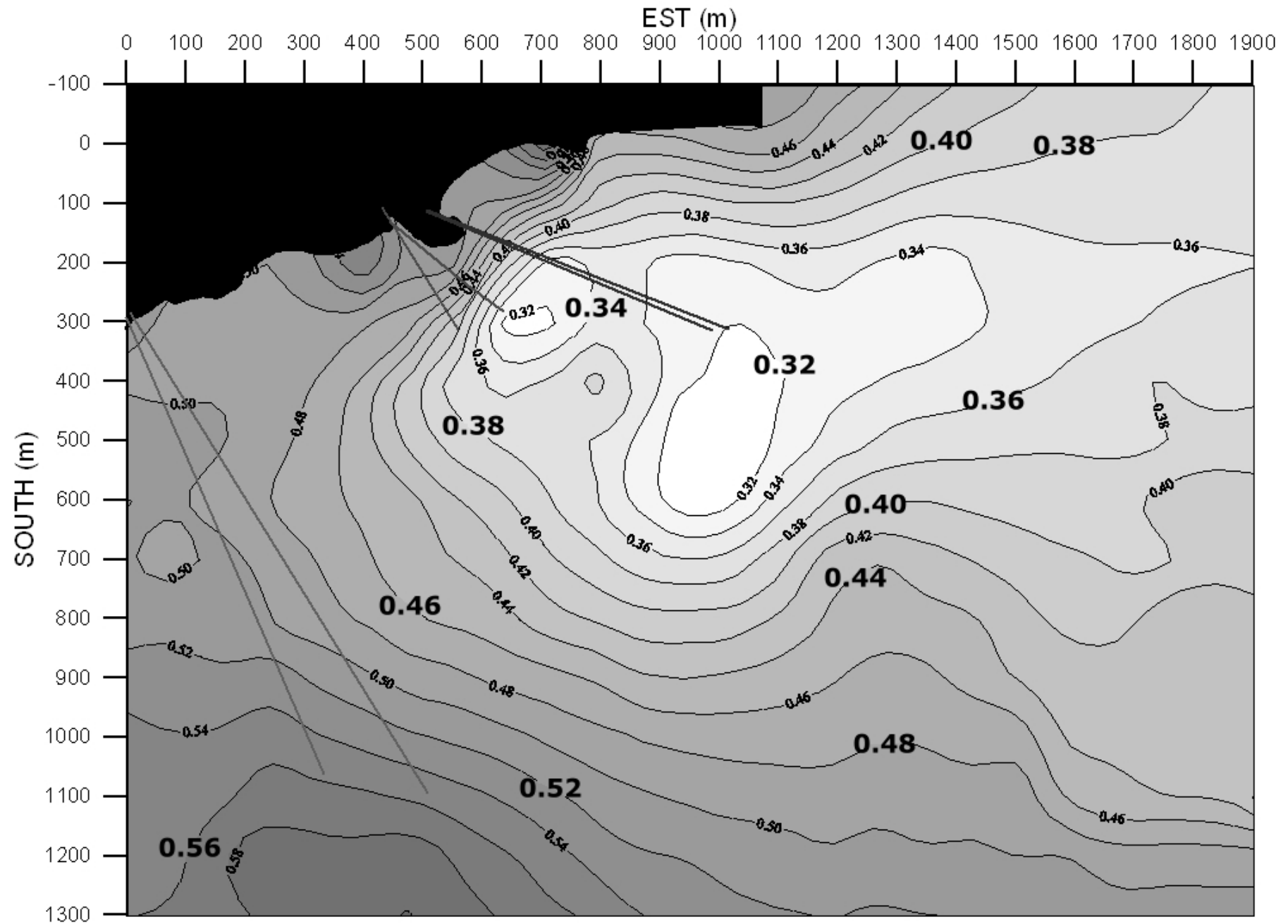
turbidity around the brine outfall (seafloor)

(Perez-Talavera and Quesada-Ruiz, 2001)



turbidity around the brine outfall (surface)

(Perez-Talavera and Quesada-Ruiz, 2001)



flora and fauna 400 m from the brine outfall

(Perez-Talavera and Quesada-Ruiz, 2001)



**water and energy
research institute**

CIEA-ITC



**desalination with
autonomous wind
energy Systems**

**EC-DGXII (Joule-Project)
Univ. Las Palmas Gran Canaria
ENERCON (Germany)
CIEMAT (Spain)
CREST (UK)
NEL (UK)**

desalination with wind energy

(CIEA-ITC, 1999)



8 RO: 25 m³/d each

- **connected and disconnected depending on available wind power**
- **isolated grid control (frequency and voltage) by means of a flywheel and a synchronous machine**

desalination with wind energy

(CIEA-ITC et al., 1999)



1 VC: 50 m³/d



desalination with wind energy

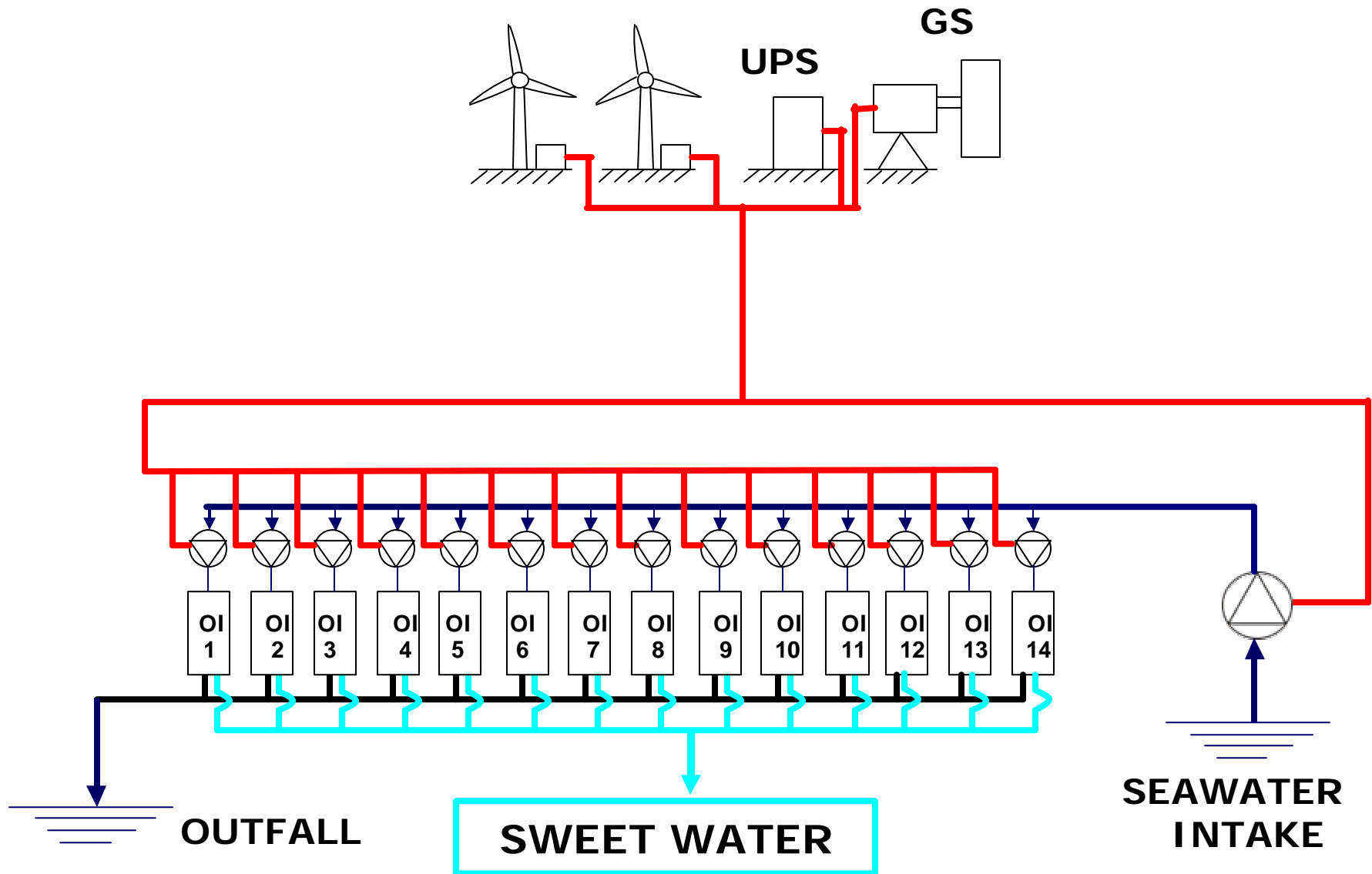
(CIEA-ITC et al., 1999)



1 EDR: 250 m³/d, brackish water

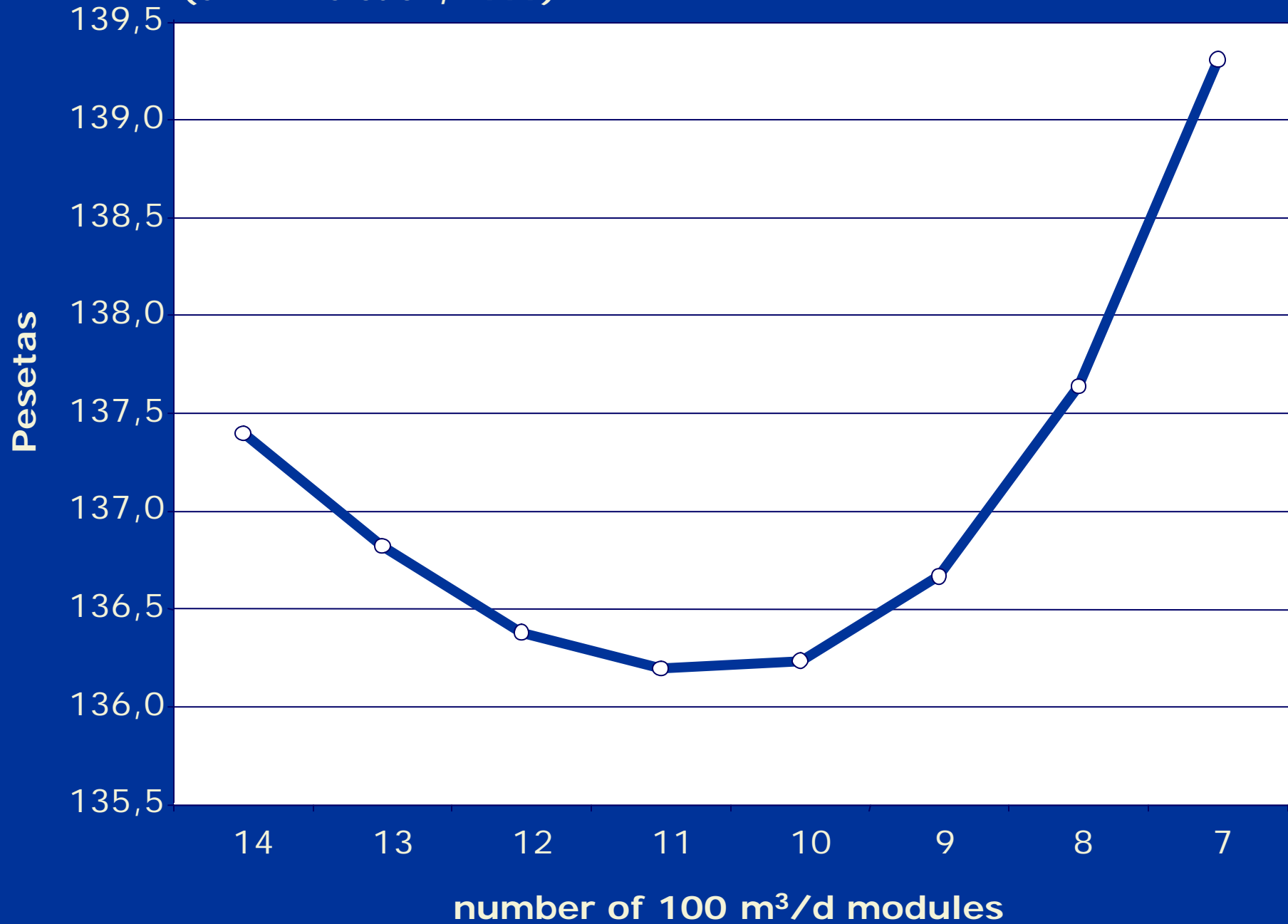
sizing RO plants for wind energy

(CIEA-ITC et al., 1999)



production costs vs. number of modules

(CIEA-ITC et al., 1999)



wind powered desalination module

(developed by CIEA-ITC, 1999)



- $Q=18 \text{ m}^3/\text{d}$
- powered by a 15 kW wind generator
- operates at constant regime
- storage and consumption of available wind power controlled by battery system

**solar thermally driven desalination system
with corrosion free solar panels
and 1 day storage capacity**



**CIEA-ITC
EC-DGXII (Joule Project)
Fraunhofer ISE (Germany)
ZAE-Bayern (Germany)
TAS (Germany)
Agric. Univ. of Athens (Greece)**

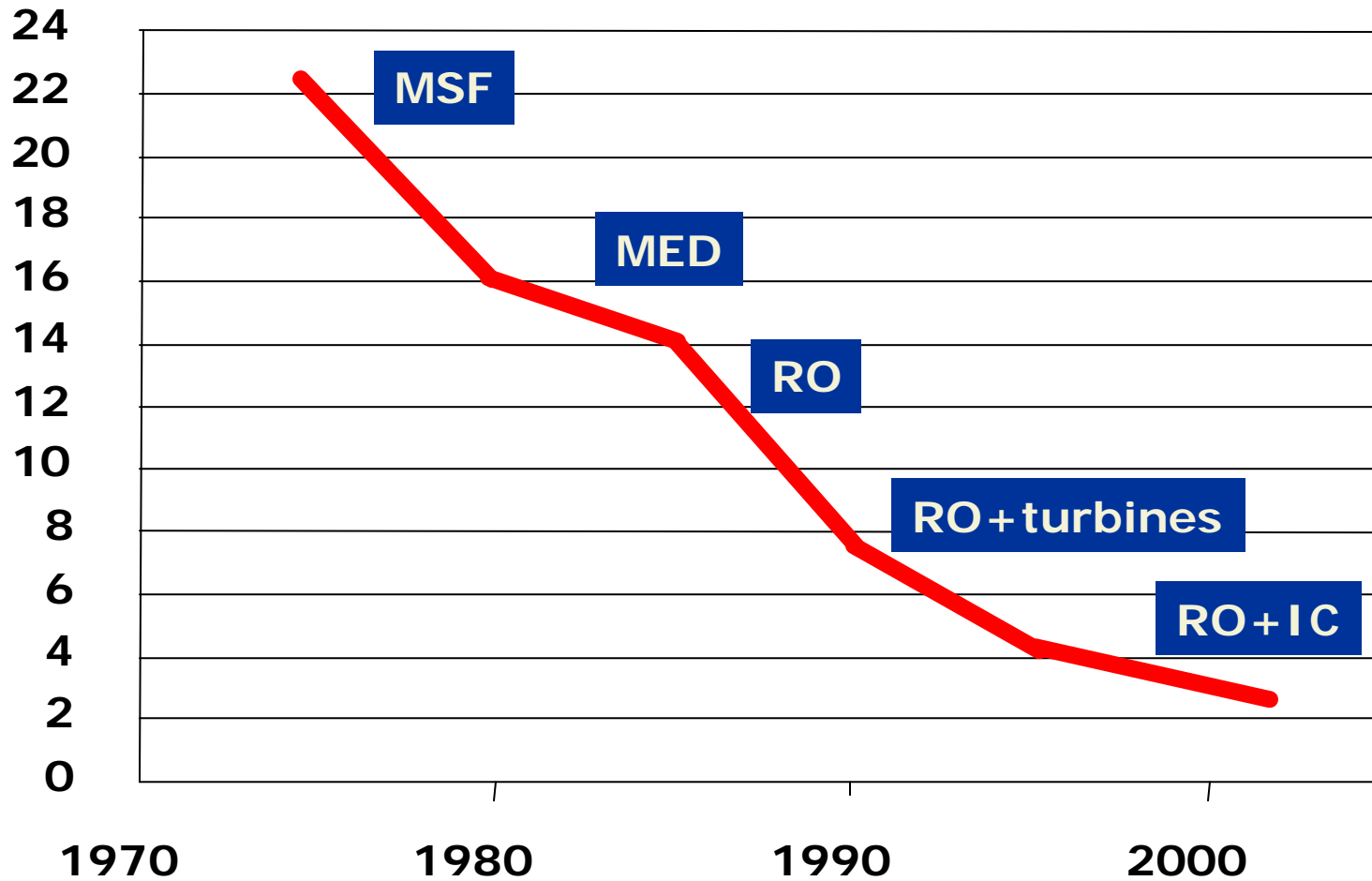
corrosion free solar panels

(developed by Fraunhofer ISE, 2000)

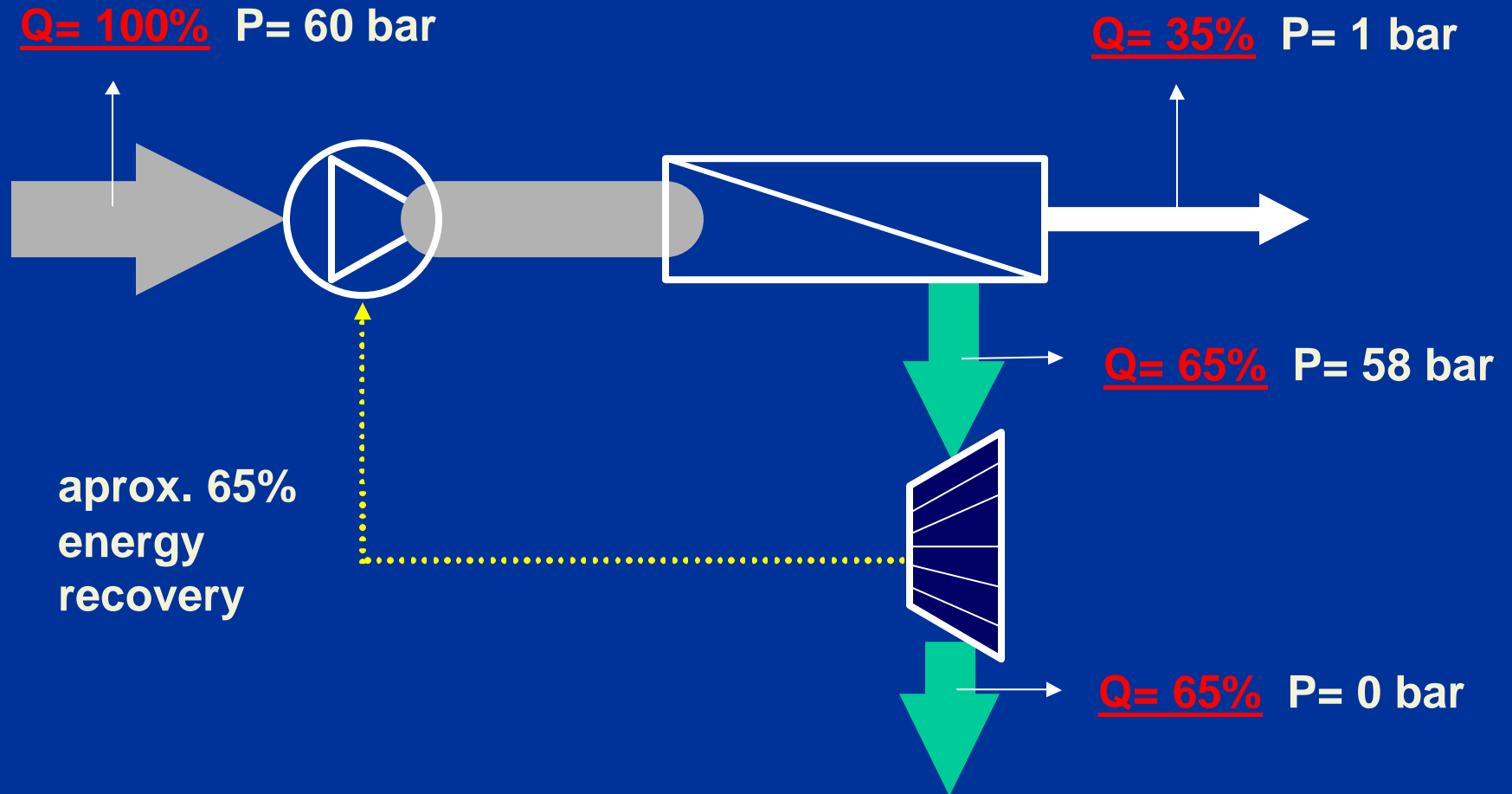


evolution of energy consumption per m³ desalinated seawater

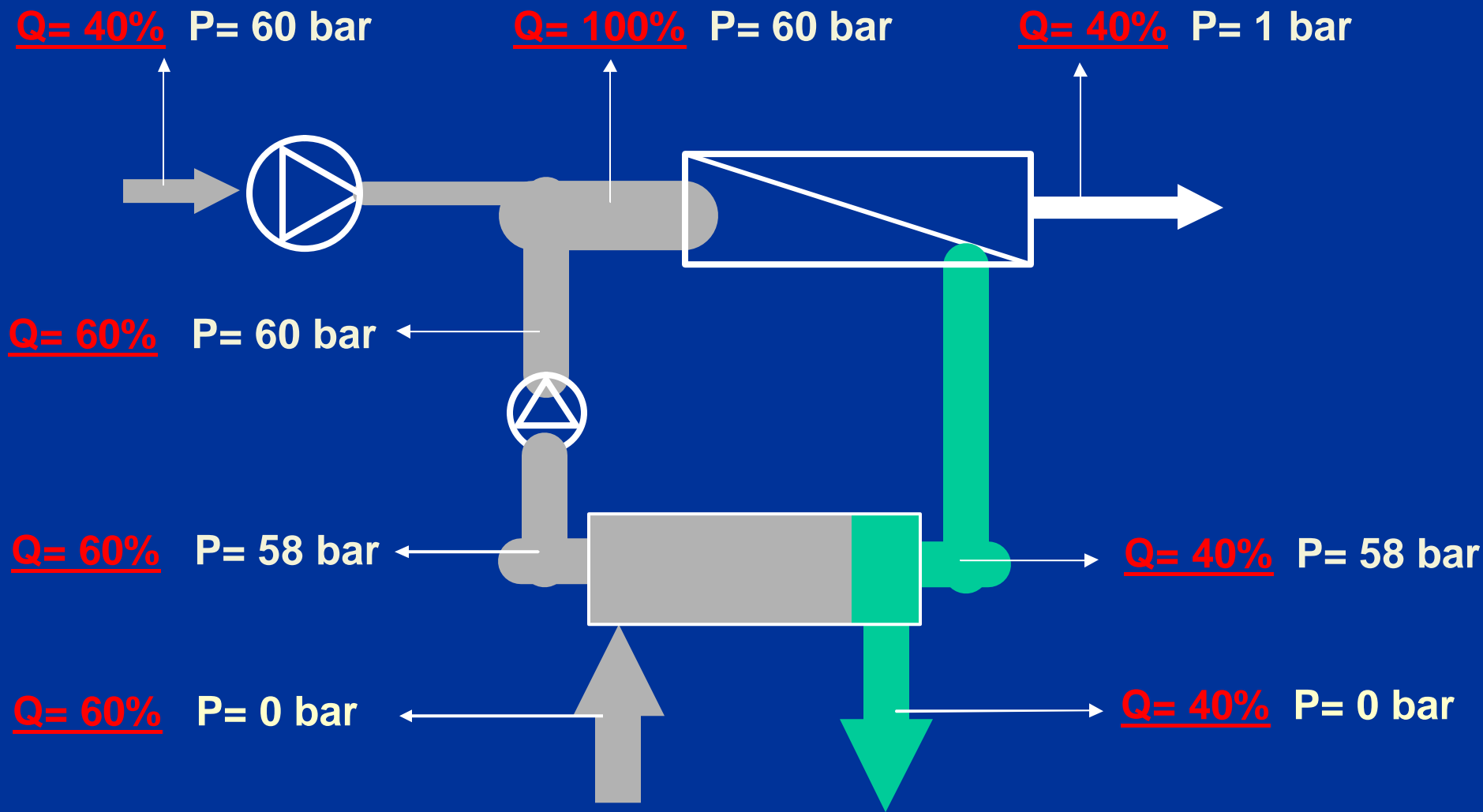
kWh/m³

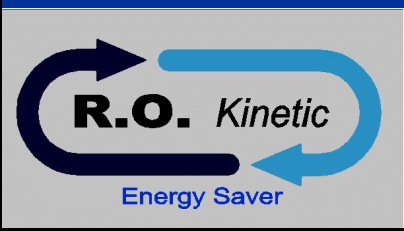
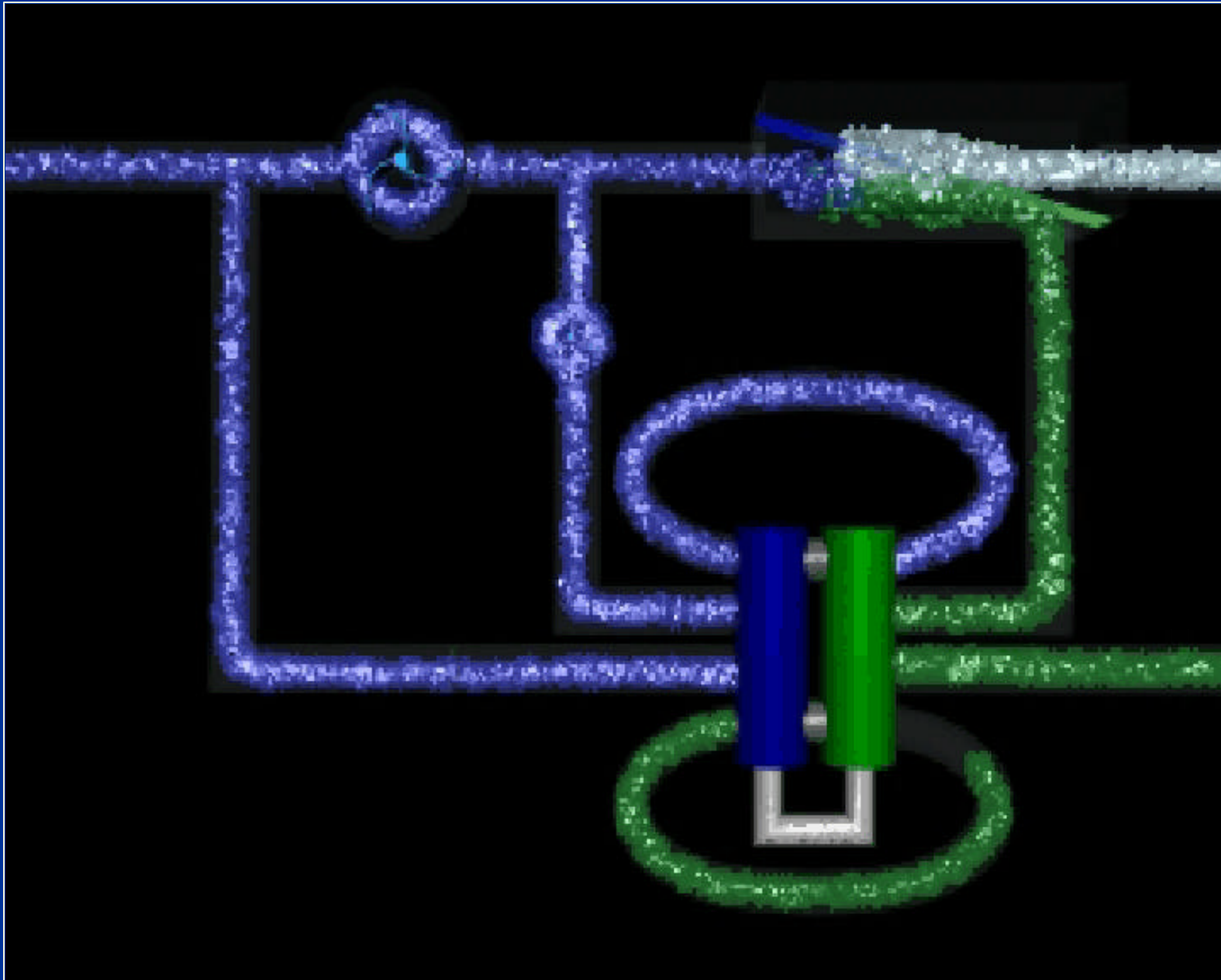


energy recovery in RO plants with turbines

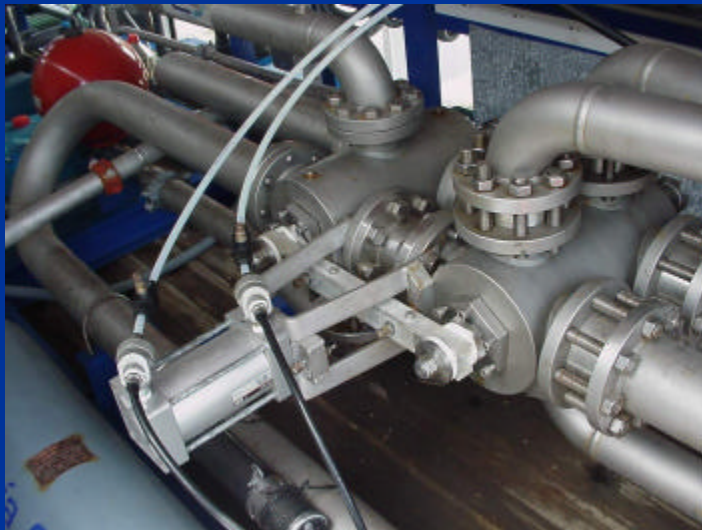


energy recovery in RO plants with isobaric chambers





energy recovery in RO plants with isobaric chambers



hybrid hydro-wind-storage power system

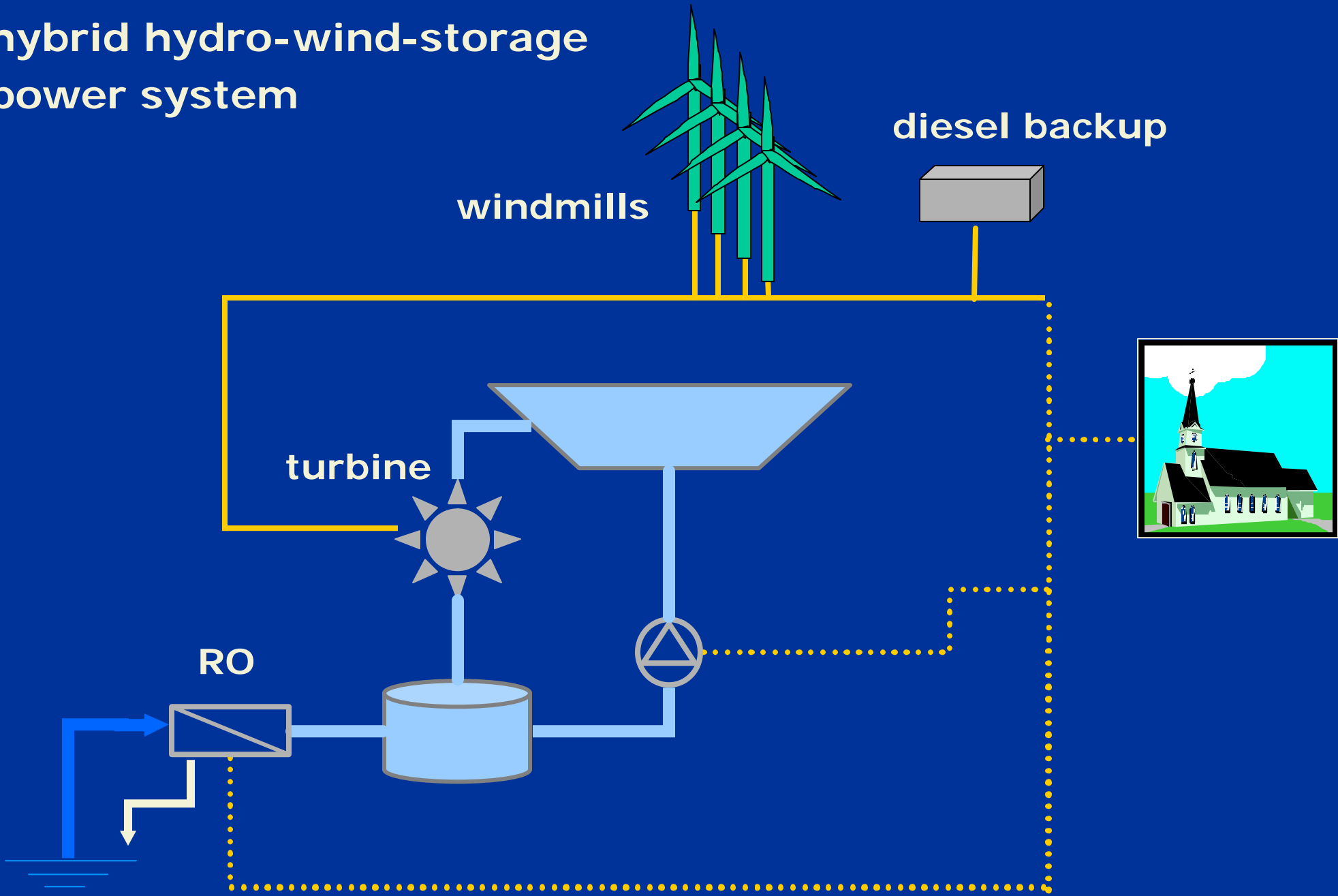
windmills

diesel backup

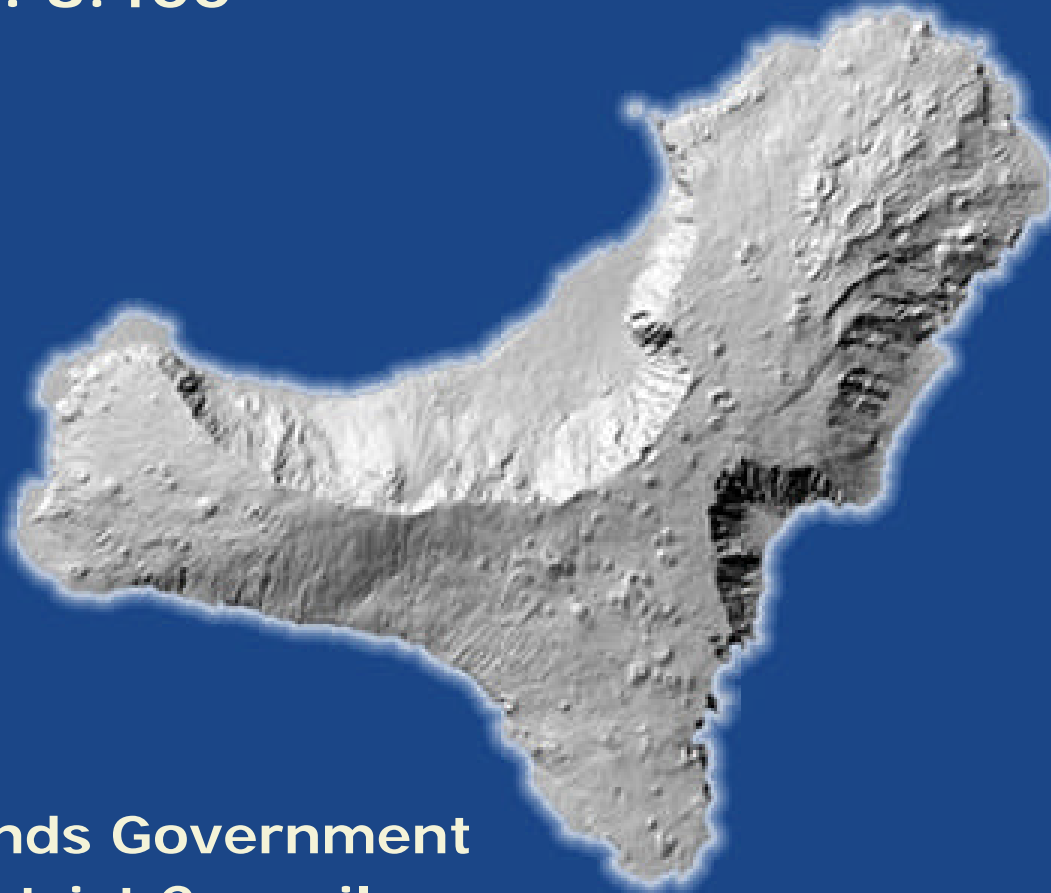
turbine

RO

seawater



hybrid hydro-wind-storage power system
El Hierro island
population: 8.400



CIEA-ITC
Canary Islands Government
El Hierro District Council
Endesa



20 years cost-benefit analysis of the hybrid hydro-wind-storage power system in El Hierro

(CIEA-ITC et al., 2001)

estimated energy demand	880 GWh
fuel consumption with conventional systems	220.000.000 liter
reduction in fuel consumption from hydro-wind-storage system	75%
total saving in fuel oil	aprox. 10 million ecus
investment	20 million ecus
IRR	10%
payback	10 years



thank you for your attention

you can find us at www.fcca.es