

Capítulo 2: Desalación de Agua de Mar. El Proyecto MEDESA

La realización del mi proyecto se lleva a cabo en el seno del proyecto MEDESA (**M**echanical Vapour Compression Multi-**E**ffect **D**ESAlination), cuyo objetivo final es el diseño y desarrollo de una planta de desalación de agua de mar.

2.1 Introducción. Situación Mundial del Consumo de Agua Potable

La provisión de agua se ha convertido en un problema de gran importancia a nivel político, sociológico y económico. El agua potable es ya un recurso muy escaso a nivel mundial. Más de una quinta parte de la población vive hoy en día sin suministros suficientes de agua potable y, teniendo en cuenta el pronosticado aumento de población y el desarrollo permanente en el que vivimos, es condición previa un suministro de agua cualitativa y cuantitativamente suficiente.

El crecimiento de población esperado se cifra en 15.000 millones de habitantes hasta mediados del siglo 21 y el hecho de que las fuentes convencionales de agua en la tierra estarán completamente agotadas, hará que sean necesarios en las dos próximas décadas, al menos en varias docenas de países, esfuerzos considerables para la adquisición de suficiente agua potable para cientos de millones de habitantes. Concretamente se estima que en el año 2025 la mitad de la población mundial tendrá carencias de agua potable [3].

Como se muestra en la figura 2.1, la agricultura es, a escala mundial, con creciente tendencia, en aproximadamente el 71 %, el mayor consumidor de agua. En el mundo se riegan alrededor de 250 millones de hectáreas de tierra de cultivo (ver fig. 2.2).

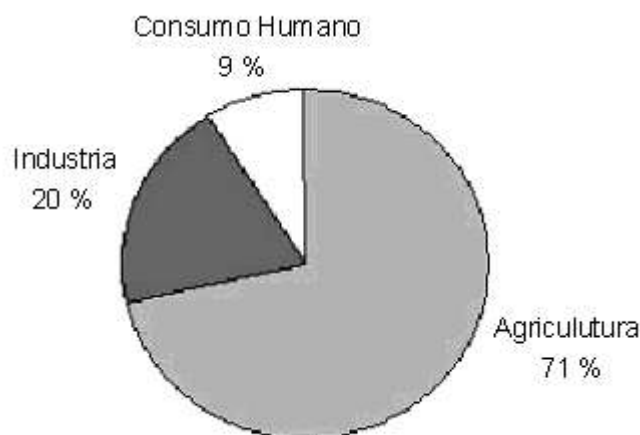


Fig. 2.1. Reparto mundial del consumo de agua

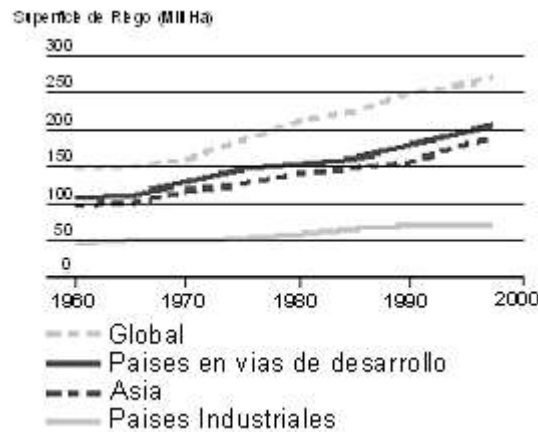


Fig. 2.2: Crecimiento mundial de las superficies de riego
Fuente: WHO 1995

Aunque los problemas de suministro de agua se muestran siempre en lugares concretos o en una región determinada, hay que considerar el problema de provisión y producción de agua de forma global. Paradójicamente, los países afectados disponen de agua en abundancia: mares, lagos y océanos constituyen el 97% de la cantidad total de agua en el planeta. El reto consiste en transformar esas fuentes de agua salada en agua potable.

2.2 Fundamentos Técnicos de la Desalación

Las tecnologías de desalación consisten en reducir el contenido salino de las aguas para convertirlas en aguas factibles de ser consumidas por el ser humano. Su fuente es inagotable si hablamos de desalación de agua marina, pero también podemos hablar de utilización de aguas salobres provenientes de acuíferos cercanos a la línea de costa (que sufren intrusión marina) o de naturaleza salina [5].

El proceso de desalación de agua se realiza por medio de distintas tecnologías que en su conjunto han conseguido ponerse en práctica a lo largo de casi todas las zonas costeras y suministrar agua para un sinnúmero de necesidades. Desde el punto de vista tecnológico, no puede decirse que exista una tecnología mejor que otra y desde el punto de vista económico, cualquiera de las distintas opciones suele ser más cara que cualquiera de los medios habituales de suministro de agua (pozos, embalses, redes de distribución etc.).

Sin embargo, una parte de las actividades humanas se concentran en lugares donde no existe una alternativa a la desalación, lo que conlleva la aceptación en el marco técnico y económico de alguno de esos procesos. La selección dependerá en gran medida de las condiciones locales, de la disponibilidad de recursos, de energía, de la calidad del agua o del soporte tecnológico [4].

2.2.1 Breve descripción de las tecnologías de desalación

La separación de la sal del agua de mar precisa del uso de energía, es decir, independientemente del principio técnico elegido, hay que forzar tal proceso de separación, el cual es dependiente, esencialmente, del contenido en sal del agua. En lo concerniente a los procesos para desalación de agua, podemos dividirlos en dos grandes grupos [5]:

Tecnologías de Destilación

El principio básico de desalación consiste en obtener agua destilada con la condensación del agua marina previamente evaporada, gracias a un aporte de energía térmica que, generalmente, proviene de una central térmica adyacente. En algunos casos, la evaporación se produce por efecto flash (MSF), y en otros se realiza en el exterior de tubos de un condensador (destilación multietapa o de múltiple efecto, MED). En ambos métodos se utiliza un vapor de baja presión proveniente de una central térmica; es por ello que son muy utilizadas en el Golfo Pérsico, en países con una única dependencia de este tipo de suministro hídrico y combustibles fósiles excedentarios, a modo de grandes instalaciones de cogeneración. La tecnología de compresión de vapor utiliza el mismo procedimiento para desalar, pero consume energía eléctrica a través de un compresor volumétrico que permite cerrar las pérdidas en el proceso de transferencia de calor. Las figuras 2.3 y 2.4 muestran esquemáticamente el funcionamiento de estas dos tecnologías. Existen, no obstante, otras tecnologías que pueden ser nombradas en este grupo. Tal es el caso de los procesos de compresión mecánica de vapor, MVC y procesos de compresión térmica de vapor TVC. Estos procesos suelen encontrarse combinados con los procesos MED, principalmente en el caso de las tecnologías de tipo TVC.

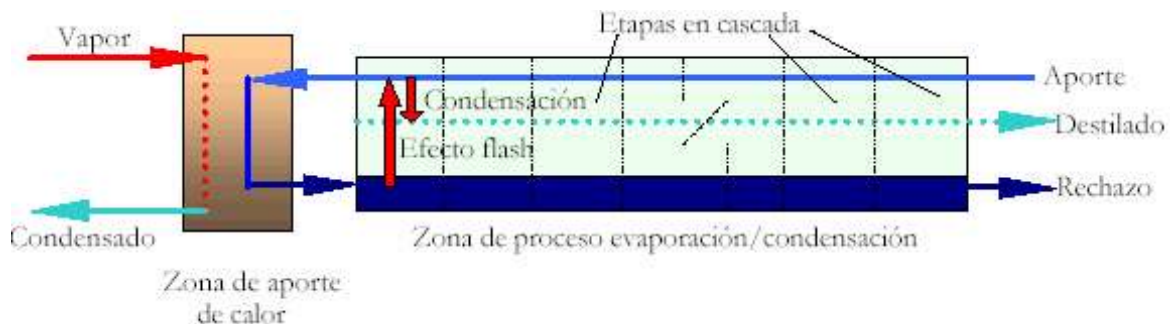


Fig. 2.3: Esquema del proceso MSF

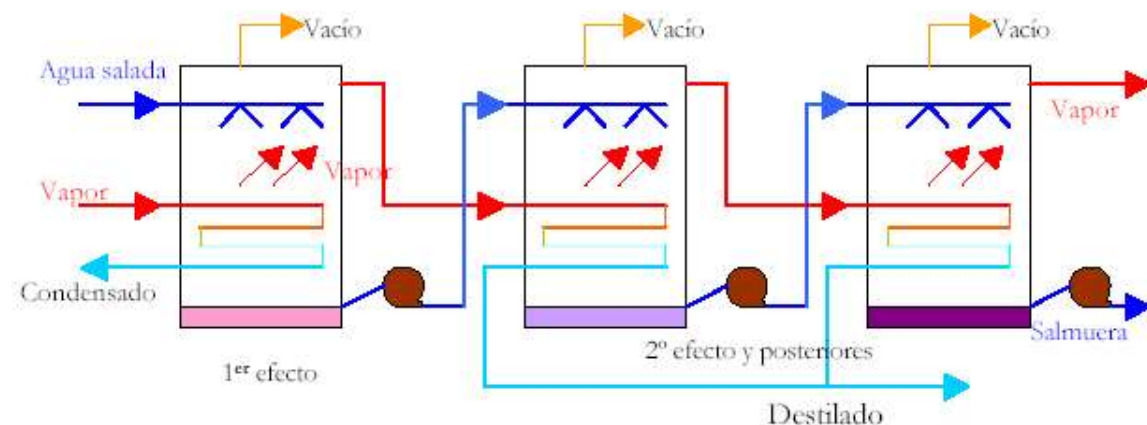


Fig. 2.4: Esquema del proceso MED

Tecnologías de Membrana

Las membranas permiten retener en ellas las sales que contienen las disoluciones acuosas, entre ellas el agua marina. La ósmosis inversa (OI) es una tecnología que aplica una presión mayor que la presión osmótica entre dos disoluciones de diferente concentración, confrontadas en una membrana semipermeable para obtener un agua desalada de pureza apreciable. En España es la más ampliamente utilizada debido a su menor coste energético, obtenido con la aparición de los sistemas de recuperación de energía de la salmuera presurizada (además en España la energía primaria y la energía secundaria o eléctrica no difieren mucho en costes), su mayor rendimiento de desalación y su mayor modularidad y facilidad de reparación sin necesidad de parada en planta.

Para aguas salobres de menos de 2.000 mg/l de salinidad, la opción de utilizar el método de electrodialísis, en el cual se filtran los cationes y aniones de las sales presentes en el agua por membranas semipermeables a dichos iones con ayuda de un campo eléctrico generado por un ánodo y cátodo alimentados con corriente continua, es también factible económicamente.

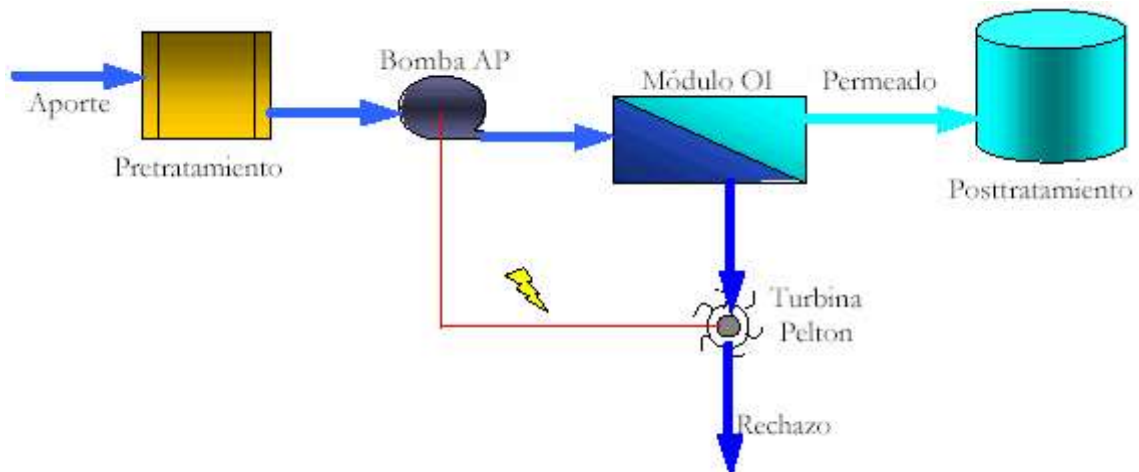


Fig. 2.5: Esquema de una instalación de ósmosis inversa

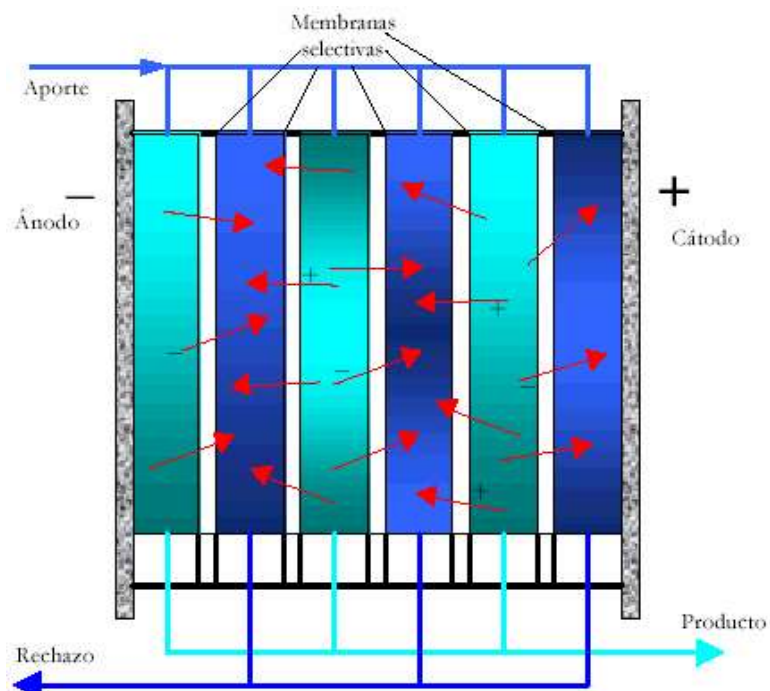


Fig. 2.6: Proceso de desalación de aguas salobres por electrodialísis

Procesos de Entidad Menor

Existen otras tecnologías correspondientes a procesos denominados “de entidad menor” [4]. Es el caso de los procesos de congelación, destilación por membrana y destilación solar.

En el proceso de destilación por membrana se calienta el agua hasta conseguir vapor que se pone en contacto con una membrana capaz de dejar pasar el vapor pero no el agua. El vapor filtrado está libre de sales y se condensa a lo largo de una superficie enfriada por el propio agua de mar.

La destilación solar constituye el sistema más antiguo de desalinización y se basa en la duplicación del proceso hidrológico natural. El sol calienta un recipiente lleno de agua salina y conforme el aire se calienta, se va humidificando hasta su saturación. Este aire saturado se pone en contacto con una superficie fría (normalmente la propia cubierta de vidrio del recipiente) y condensa una cierta cantidad de agua. El proceso no recupera calor y necesita un aporte masivo de energía, que cuando es solar se puede considerar gratis.

2.3 Nuevos Retos en Materia de Desalación

2.3.1 La destilación multiefecto con energía solar

Entre las fuentes de energías adecuadas para hacer funcionar los procesos de desalación, la energía solar es una de las opciones más prometedoras, debido a la habitual coincidencia en muchos lugares del mundo en la disponibilidad de radiación solar y demanda de suministro de agua dulce. Durante la década de los noventa, el Proyecto de Desalación Solar Térmica, llevado a cabo en la Plataforma Solar de Almería, demostró la viabilidad técnica de la desalación de agua de mar con energía solar térmica, a través del acoplamiento de un campo de colectores solares cilindro-parabólicos con una planta convencional de destilación multi-efecto. A pesar de ello, esta tecnología no puede actualmente competir, desde un punto de vista económico, con otras tecnologías de desalación convencionales, a menos que se lleven a cabo mejoras adicionales.

Un nuevo proyecto, denominado AQUASOL, se ha iniciado en el año 2002 con el fin de intentar mejorar el sistema solar anteriormente propuesto. El objetivo del Proyecto AQUASOL es el desarrollo de una tecnología de desalación de agua de mar de menor coste y mayor eficiencia energética, basada en el proceso de destilación multi-efecto con emisión nula de salmuera. Se espera que los desarrollos tecnológicos específicos propuestos (nuevos diseños de colector CPC y bomba de absorción, hibridación con gas natural y recuperación de la sal) mejoren tanto la eficiencia energética del proceso como la economía del mismo. El resultado esperado sería una tecnología MED mejorada con posibilidades de mercado y adecuada para ser implantada en el área mediterránea y localizaciones similares en el resto del planeta. Para un coste del combustible fósil (ej. gas natural) de 4.5 €/GJ, el coste necesario del hardware solar asociado (considerando una contribución del 50% al sistema total) para conseguir la competitividad económica con plantas MED convencionales, se situaría en torno a 300 €/m² de colector solar [6].

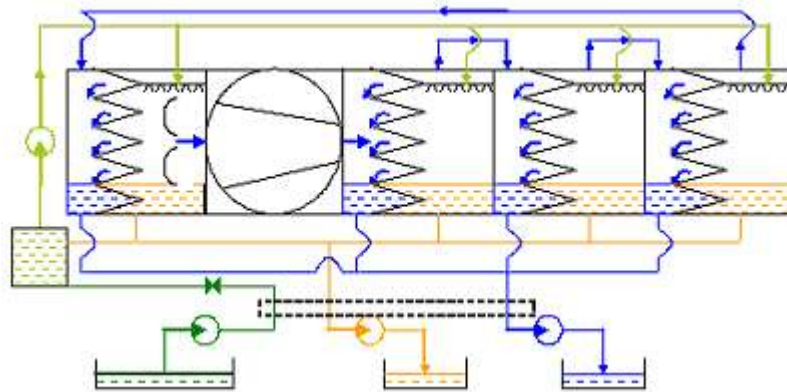


Fig. 2.8: Esquema de funcionamiento de la planta MEDESA. Proceso multiefecto

El proyecto MEDESA se ha concebido para trabajar a bajas temperaturas (máximas de 50°C), con el fin de evitar la corrosión y deposición, minimizar el gasto de productos químicos adicionales, evitar los efectos biotóxicos así como emplear materiales de construcción sin costes elevados, pequeño desgaste, mínimos costes de mantenimiento y gran fiabilidad.

El desafío del proceso se ubica en la construcción del compresor de vapor de agua y en el correspondiente intercambiador de calor. Condicionado por las bajas presiones de trabajo, el compresor debe garantizar un suministro de caudales altos, lo que supone también un problema complicado desde el punto de vista del diseño de los álabes del rotor. El concepto bajo el cual se desarrolla dicho compresor se ajusta al de una máquina de refrigeración totalmente hermética: compresor, motor de funcionamiento, evaporador y condensador se disponen en una cámara asegurando la impermeabilidad al vacío necesaria.

Anteriormente al proyecto MEDESA, la empresa ILK había desarrollado un compresor cuyas características se ajustan al compresor que podría utilizarse en este proyecto. Este compresor es el único que puede comprimir vapor de agua a bajas temperaturas en un rango de caudales de entre 10 y 40 m³/s y con una relación de compresión de hasta 2,5. Con la experiencia adquirida en el desarrollo de este compresor, es totalmente factible plantearse realizar las adaptaciones y modificaciones necesarias para que el compresor se ajuste a las exigencias del proyecto MEDESA. Los compresores de vapor actualmente disponibles en el mercado trabajan con un caudal aproximadamente 5 veces superior, por lo que no son adecuados para su uso en sistemas descentralizados de desalación de agua. La producción de un compresor de este tipo ampliaría considerablemente las expectativas en este campo [8].

Otros objetivos secundarios para la investigación y desarrollo de MEDESA son mejorar los parámetros de diseño a partir de los resultados así como considerar los estudios de mercado realizados en el sector de la desalación, especialmente respecto a cómo el mercado puede condicionar el desarrollo de actividades futuras [1].

2.4 Estudio Económico de la Desalación. Viabilidad del Proyecto MEDESA

La desalación se ha convertido en una vía imprescindible para solventar los problemas que se plantean en el futuro inmediato para un aprovisionamiento suficiente de agua potable para el consumo humano. La figura 2.9 representa muestra la situación pronosticada para el año 2050.

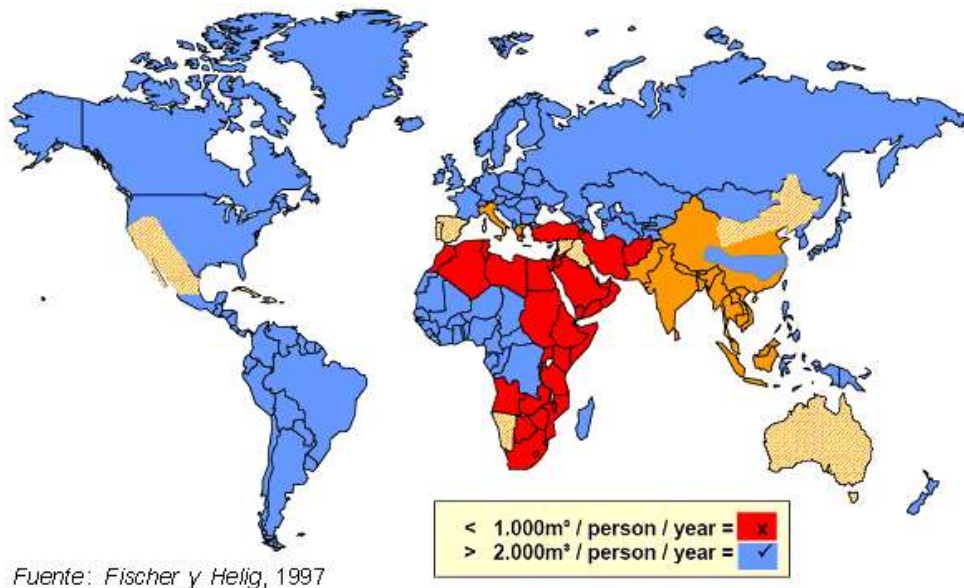


Fig. 2.9: Pronóstico de la situación mundial en el año 2050

A día de hoy puede decirse que los proyectos llevados a cabo en materia de desalación de agua de mar son realmente exitosos. Según expertos de la empresa Siemens, el mercado en torno al campo de la desalación de agua de mar se situará a partir del 2010 en cifras de hasta 2000 millones de euros en ventas anuales, lo cual lo convierte, evidentemente, en un potencial a tener en cuenta [1].

2.4.1 Situación actual del mercado

Actualmente se encuentran construidas unas 12.000 plantas de gran tamaño para desalación de agua de mar, las cuales producen aproximadamente 36 millones de metros cúbicos diarios de agua potable. Y la tendencia es notablemente creciente. Aún así, dichas instalaciones cubren únicamente el 70% de las necesidades a nivel mundial.

De esta forma, la desalación de agua de mar se ha convertido en un mercado importante. Estudios realizados en el 2002 para el desarrollo de la recuperación global de agua potable (OECD), pronostican para el período comprendido entre los años 2011 y 2015, una necesidad de ampliación de la capacidad de producción en otros 9,5 millones de m³ diarios. Dos tercios de esta capacidad adicional requerida corresponden a Arabia Saudí, emiratos árabes, Irán y USA. Estos estados planifican para el período indicado la construcción y puesta en marcha de grandes plantas de desalación de agua de mar con capacidades que van desde los 30.000 m³ diarios

por medio de procesos de ósmosis inversa, hasta capacidades de 1 Millón de m³/día por medio de procesos térmicos y combinados [2].

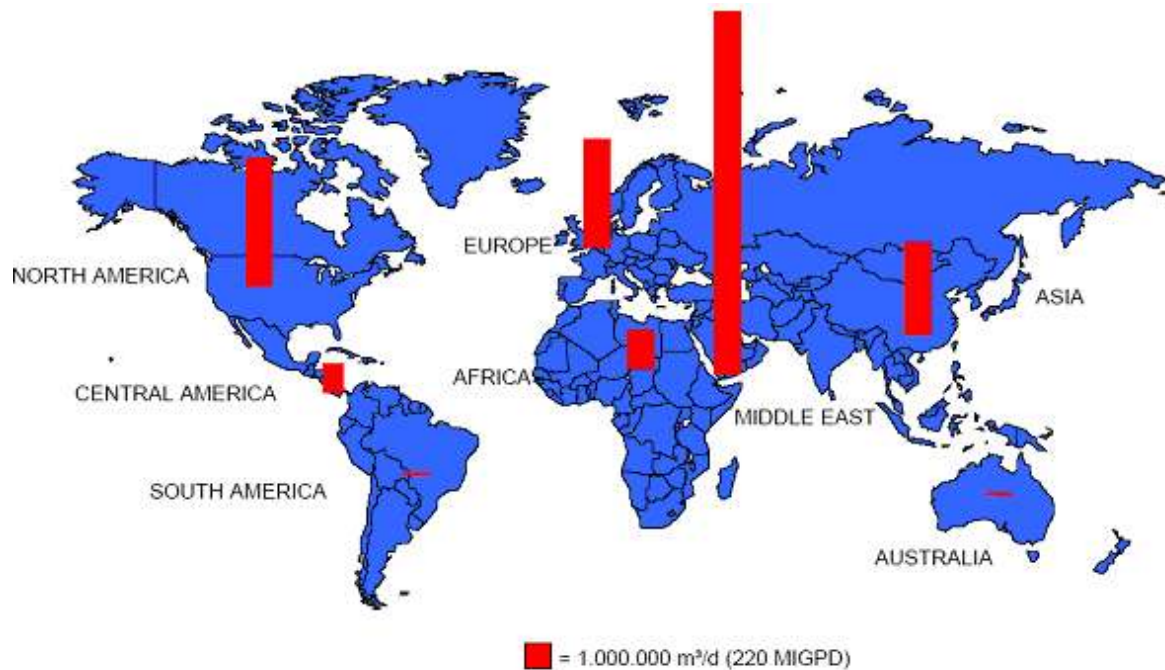


Fig. 2.10: Producción mundial de agua potable mediante desalación

En lo que al mercado español, y concretamente andaluz, se refiere, nuestro país es, por detrás de Arabia Saudí, Emiratos Árabes y Kuwait, el cuarto país en volumen producido de agua desalada. Empresas punteras en desalación como Befesa, filial de actividades medioambientales de la multinacional andaluza Abengoa, pretenden incrementar el volumen de facturación por encima de los dos dígitos para el 2005, basándose en el fuerte crecimiento de la actividad exterior y la construcción de dos plantas desaladoras en Argelia. En sus 20 años de actividad en el sector, las infraestructuras desarrolladas por Befesa arrojan una capacidad de tratamiento de 485.000 m³/día de agua de mar, así como 165.000 m³/día de aguas salobres. Estos recursos hídricos adicionales equivalen a 237 Hm³ anuales que sirven para abastecer a más de tres millones de habitantes, o bien, regar más de 110.000 hectáreas, a razón de 2.000 m³ por año y hectárea [9].

2.4.2 Los costes de la desalación de agua de mar

En los últimos años se ha producido una considerable reducción en los costes del agua potable obtenida a partir de plantas desaladoras (Wangnick, 2001). Por otra parte, el coste del agua producida mediante plantas de tratamiento convencional ha aumentado debido a la sobreexplotación de los acuíferos, la contaminación de las aguas subterráneas y la intrusión salina. En países como los de la región del Golfo Pérsico, la desalación de agua de mar es una técnica plenamente utilizada y competitiva, y esta situación está cerca de convertirse en una realidad en otros muchos lugares del mundo debido al continuo incremento de la demanda de agua dulce y una reducción paralela en la disponibilidad de la misma por las razones anteriormente mencionadas [6].

A partir de la década de los noventa, la ósmosis Inversa se ha convertido en el sistema mas difundido por ser el que presenta un balance económico mas ajustado. Su mayor ventaja es su bajo consumo de energía y que además, es dependiente de la salinidad del agua. Sus puntos más conflictivos estriban en el control del agua de entrada y del mantenimiento de las membranas. El sistema necesita un suministro estable de energía eléctrica y un control exhaustivo de los parámetros de entrada del agua a tratar con un sistema eficaz de pretratamiento del agua. A modo de ejemplo, una planta de desalación por ósmosis inversa, con una capacidad de desalación de 30.000 m³ diarios representa una inversión de unos 30 millones de euros, generando unos costes anuales de entorno a medio millón de euros [2].

El sistema de compresión de vapor, es también dependiente de un suministro fiable de energía eléctrica y aunque no presenta tantas restricciones en el control del agua de entrada, consume mucha mas energía que la ósmosis inversa. En cualquier caso, estos dos sistemas son más eficaces en cuanto al uso de la energía que los sistemas de destilación, aunque en estos casos la fuente principal sea de origen térmico.

El sistema de evaporación súbita MSF es el mas antiguo de los sistemas y se caracteriza por un cierto derroche de energía, alrededor de 4 o 5 kWh/m³ de electricidad para mover todos los equipos auxiliares y un consumo térmico no inferior a los 50 kWh/m³ a un nivel de temperatura de entre 100 y 110°C. Aproximadamente la mitad de las plantas mundiales de desalinización se han construido por este método, lo que le confiere una cierta predominancia. Sin embargo, su utilidad está limitada a plantas de muy gran tamaño y a lugares que dispongan de una fuente de energía térmica muy abundante y barata.

El método de destilación de Múltiple Efecto es la variante moderna del MSF dado que presenta todas las ventajas del MSF y solventa algunos inconvenientes como el derroche de energía y la capacidad de construir plantas más pequeñas. Las plantas ME necesitan hacer un consumo eléctrico de entre 2 y 3 kWh/m³ y otro térmico de entre 30 y 50 kWh/m³ lo que las acerca a la eficiencia de las plantas de ósmosis Inversa, especialmente si el agua a desalinizar es directamente agua de mar. Su ventaja está del lado de la fiabilidad de la operación, de un mantenimiento menos sofisticado y de ser más independientes en cuanto a la calidad del agua a tratar.

	MSF	MED-TVC	MVC	RO ^a
Costes de instalación (€/m ³ /day)	1080 – 1690	780 – 1080	1020 – 1500	660 – 1200
Consumo energético (MJ/m ³) ^b	194 – 291	145 – 194	0	0
Consumo electricidad (kW _h /m ³)	3.5 – 4.0	1.5 – 2.0	9 – 11	3 – 4.5
Operación y mantenimiento (€/m ³)	0.05 – 0.07	0.04 – 0.07	0.05 – 0.08	0.05 – 0.10
Recambios y prod. químicos (€/m ³)	0.02 – 0.04	0.02 – 0.03	0.02 – 0.04	0.02 – 0.05
Reemplazo de membranas (€/m ³)	0	0	0	0.01 – 0.04

^a Capacidad de planta entre 10.000 – 100.000 m³/dia

^b GOR(MSF) = 8-12, GOR(MED-TVC) = 12-16

Tabla 2.1: Costes de instalación y operación para las diferentes tecnologías de desalación

Los sistemas de destilación solar han demostrado tanto su fiabilidad como sus limitaciones. Desde la primera planta construida en el desierto de Atacama en el norte de Chile a mediados del siglo IXX, hasta las últimas experiencias llevadas a cabo a finales de siglo XX, los informes hablan de plantas fiables, de bajo costo y de

reducido mantenimiento, pero con una producción que oscila entre 1 y 4 litros día/m² de colector, lo que implica unas extensiones muy grandes o unas producciones demasiado bajas para las expectativas de la comunidad [4].

La Tabla 2.1 muestra los costes de instalación y operación para las principales tecnologías utilizadas en la desalación de agua de mar: destilación súbita multietapa (MSF), destilación multiefecto con compresión térmica de vapor (MED-TVC), compresión mecánica de vapor (MVC) y ósmosis inversa (RO) [6].

2.4.3 Viabilidad del proyecto MEDESA

En base a lo expuesto en el apartado anterior puede decirse que, dentro del mercado al que se puede aspirar, es decir pequeñas potencias (100 a 1000 m³ de agua utilizable al día), la situación del mercado es comparativamente apropiada, dado que tan sólo tres procesos cubren las exigencias a estos niveles [1]:

- Procesos de ósmosis inversa
- Procesos combinados MVC/MED (*Mechanical Vapour Compression / Multi-Effect Distillation*)
- Procesos MVC (*Mechanical Vapour Compression*)

Como puede observarse en la figura 2.11, los procesos de compresión mecánica de vapor no juegan prácticamente ningún papel a nivel competitivo, por ser una alternativa que presenta costes relativamente elevados, como se comentó también en el apartado anterior. Tan sólo los procesos de ósmosis inversa suponen una competencia seria para los procesos de tipo MVC/MED [1], si bien las plantas que trabajan por ósmosis inversa cubren el mercado a todos los niveles de consumo, como se muestra igualmente en la figura 2.11. Dentro del propio proceso MVC/MED, hasta el día de hoy tan sólo la firma I.D.E. Israel, compite de forma directa con el proceso que emplea el proyecto MEDESA [1].

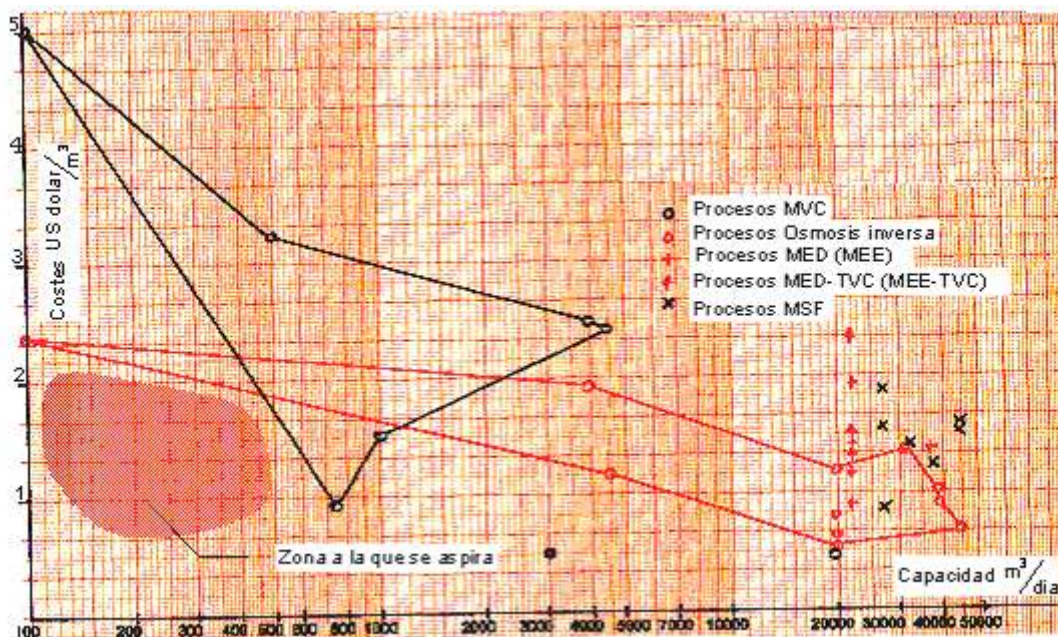


Fig. 2.11: Costes de los procesos de desalación frente al volumen de producción de agua potable